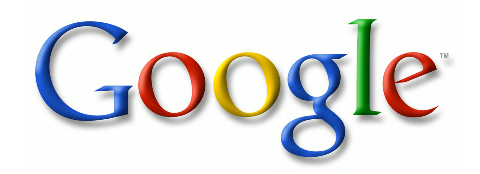
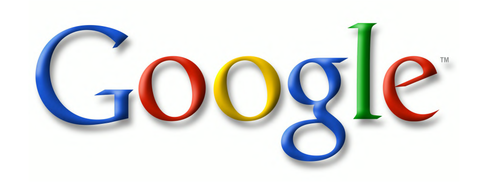
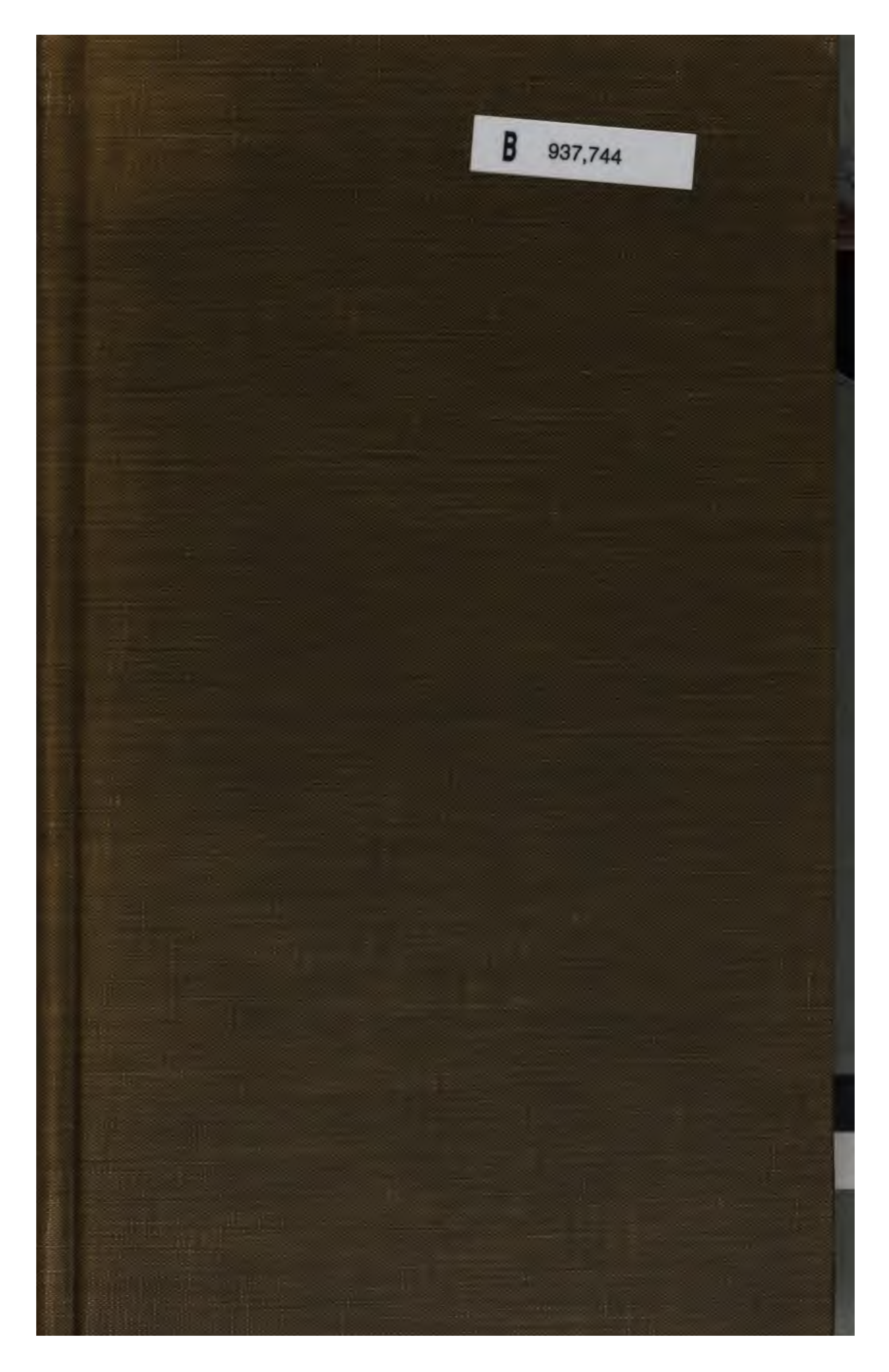





B 937,744


SE TAIRE ET FAIRE

CORRÉLATION

DES

FORCES PHYSIQUES.

PARIS. — IMPRIMERIE DE W. REMQUET ET C[ie],
rue Garancière, 5, derrière Saint-Sulpice.

CORRÉLATION

DES

FORCES PHYSIQUES

PAR

W. R. GROVE, Esq. Q. C.

MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES.

ouvrage

TRADUIT EN FRANÇAIS PAR M. L'ABBÉ MOIGNO

SUR LA TROISIÈME ÉDITION ANGLAISE

avec des notes

PAR M. SEGUIN AINÉ

CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE.

PARIS

A. TRAMBLAY, DIRECTEUR DU COSMOS

rue de l'Ancienne-Comédie, 18.

LEIBER ET COMMELIN,

Librairie Centrale des Sciences, rue de Seine, n. 13.

1856

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
PRÉFACE.	V
Introduction.	1
Mouvement.	24
Chaleur.	42
Électricité.	100
Lumière.	140
Magnétisme.	182
Affinité chimique.	198
Autres modes de force.	224
Conclusions.	236
Réflexions et Annotations de M. Seguin aîné.	266
Notes et Renvois.	331

PRÉFACE DE L'AUTEUR.

Les vues exposées dans l'essai suivant ont été d'abord émises dans une leçon faite à l'Institution de Londres, en janvier 1842, et développées ensuite plus complétement dans une série de lectures sur le même sujet, en 1843; une esquisse de ces vues fut imprimée dans le temps. A la demande des propriétaires de cette Institution, je rédigeai plus tard un extrait de mes leçons, que les directeurs firent imprimer et distribuèrent aux sociétaires. Plusieurs personnes m'ayant demandé où elles pourraient se procurer des exemplaires de cet ouvrage, j'en publiai une édition séparée, qui fut suivie bientôt d'une seconde.

En préparant cette troisième édition, j'ai été quelque peu embarrassé par la forme première de cet essai, qui n'était qu'un simple souvenir de mes leçons, destiné principalement à ceux qui les avaient entendues. J'ai cru cependant que, sans détruire l'identité du livre, je ne pourrais pas en changer le style; quoiqu'il m'eût été bien plus facile et plus agréable de le remanier entièrement, j'ai jugé que, si je le faisais, ce ne serait plus une nouvelle édition; cédant à ces raisons très-plausibles, je me suis appliqué à conserver, autant que je pouvais, le texte original; quoique considérablement augmenté, il n'est donc que très-faiblement altéré.

La forme de ces leçons est restée nécessairement appropriée à l'usage de mes premiers auditeurs, et je sens le besoin de prier mes lecteurs de ne pas m'attribuer, en raison de ma manière de m'exprimer, un ton dogmatique qui est bien loin de ma pensée. Si mes opinions sont énoncées carrément, c'est que si des opinions sont sans cesse entourées des

qualifications qui limitent leur degré de certitude, le style devient embarrassé et la pensée fréquemment inintelligible.

Comme une série de leçons ne peut servir en réalité qu'à amener l'élève à consulter les ouvrages relatifs au sujet qu'il a entendu traiter, de même le but de ce traité est plutôt d'initier les esprits aux rapports qui lient entre eux les phénomènes connus des sciences physiques, que d'entrer dans une critique minutieuse des faits relatifs à chaque branche séparée.

Dans un ou deux articles de revue publiés sur les éditions précédentes, on a critiqué la pensée fondamentale de l'ouvrage. Je crois cependant que ces critiques, maintenant du moins, sont mal fondées; les travaux mathématiques de MM. Thomson, Clausius et autres, quoique n'étant pas de nature à être insérés dans un essai tel que celui-ci, ont donné à plusieurs parties du sujet que je traite un intérêt qui promet beaucoup pour les progrès à venir.

Les intervalles courts et irréguliers que ma profession me permet de consacrer à la science,

excluent tellement pour moi cette continuité d'attention nécessaire au développement convenable d'un ensemble d'idées, que je n'aurais certainement pas eu le courage de publier tout d'un coup l'essai qu'on va lire; c'est stimulé seulement par l'accueil favorable qu'il a reçu des personnes dont j'ai le jugement en haute estime, et par le désir, que je crois excusable, de ne pas laisser entièrement isolées de mon nom quelques-unes des pensées favorites de ma jeunesse, que j'ai été conduit à entreprendre cette réimpression.

Mes lecteurs plus savants me pardonneront, je l'espère, les courtes notions relatives à certaines branches de la science, auxquelles j'ai donné place dans mon ouvrage; car, sans elles, il serait resté inintelligible pour beaucoup de ceux auxquels il est destiné. J'ai vise, en donnant un aperçu élémentaire des phénomènes généraux de la physique inorganique à les faire considérer comme ayant entre eux des rapports mutuels et nécessaires, comme étant plutôt des affections ou des modifications de

la matière ordinaire que des entités spécifiques, subsistant par elles-mêmes.

Les notes contiennent des renvois aux mémoires originaux dans lesquelles sont traitées *ex professo* les branches de la science dont il est question dans le texte et à ceux qui viennent à l'appui de mes principaux arguments; lorsque ces mémoires sont nombreux ou d'un accès difficile, je renvoie aux traités dans lesquels ils ont été résumés ou compilés. Pour que l'attention du lecteur ne soit pas interrompue, j'ai renvoyé dans les notes aux pages correspondantes du texte, au lieu de signaler dans le texte par des lettres ou des chiffres interposés le lieu de chaque note, comme on le fait communément.

CORRÉLATION

DES

FORCES PHYSIQUES.

INTRODUCTION.

Lorsque des phénomènes naturels sont observés pour la première fois, on voit naître immédiatement une tendance à les rapporter à quelque chose déjà connu, à leur faire prendre place dans le rang des vérités admises. La manière d'envisager les faits nouveaux, le plus favorablement accueillie par le public, est celle qui les rattache aux opinions reçues, qui les estampe en quelque sorte dans le moule où l'esprit a déjà pris sa forme. Le nouveau phénomène en lui-même peut être fort éloigné des faits dont on prétend le rapprocher; il peut appartenir à un ordre d'analogies différent; mais cet éloignement ne peut être alors perçu parce qu'on manque des données ou

coordonnées nécessaires. On peut contester que l'esprit humain soit tellement moulé sur les événements passés qu'il soit impossible de lui présenter une idée entièrement nouvelle; mais, en admettant la possibilité de sa nouveauté absolue, l'idée nouvelle, fondée nécessairement sur des données insuffisantes, serait, si on l'acceptait, isolée, moins correcte et plus dangereuse que ne pourrait l'être l'effort tenté pour la concilier avec les faits connus.

Toute théorie issue de faits nouveaux, qu'elle se borne à les coordonner avec les faits connus, ou, ce qui est plus difficile et plus périlleux, qu'elle essaie de réformer en quelque sorte l'esprit public, est, en général, énoncée par ceux-là même qui ont découvert les faits, ou par ceux qui, à cette époque, font autorité dans le monde; les autres ne seraient pas assez audacieux pour oser la formuler; s'ils l'osaient ils ne seraient pas écoutés. La théorie, ainsi primitivement énoncée, a la plus forte prise sur l'esprit public; personne, à son apparition, n'étant en puissance d'éprouver sa vérité par une série suffisante d'expériences, elle est acceptée seulement ou principalement d'autorité. Parce que les moyens d'une discussion contradictoire manquent, son adoption est d'abord inséparable de quelques doutes; mais comme le temps après lequel elle pourra être jugée au fond dépasse de beaucoup la vie des hommes qui l'ont vue naître, et que l'esprit, soit individuel, soit public, ne peut pas supporter longtemps un état d'hésitation et d'attente, la nouvelle théorie,

en l'absence d'une meilleure, est bientôt admise comme une vérité établie ; elle est transmise par le père à son fils et prend peu à peu sa place dans l'éducation. Les générations suivantes, dont l'esprit s'est ainsi moulé sur une opinion reçue, sont beaucoup moins disposées à l'abandonner. Elle leur a été imposée d'abord par une autorité qu'ils n'avaient pas même la pensée de révoquer en doute ; elles ne pourraient, plus tard, abandonner la foi qu'elles ont mise en elle, que par un travail de remaniement ou de réforme des idées que l'esprit public en masse peut et veut très-rarement entreprendre. Le retour fréquent de ces remaniements serait d'ailleurs réellement incompatible avec l'existence des sociétés humaines, car il en résulterait une anarchie de pensées, une succession perpétuelle de révolutions des esprits.

Cette nécessité a son bon côté ; mais le mal, en ce qui concerne l'objet que nous avons ici en vue, est que de cette manière les théories les plus aventurées ou les moins fondées sont souvent celles qui deviennent les plus durables. Aucune théorie, en effet, n'est plus prématurée ; aucune n'est vraisemblablement plus inexacte que celle que l'on hasarde à l'apparition d'une nouvelle découverte ; et le temps, qui exalte l'autorité de ceux qui l'ont émise, ne peut pas donner aux illustres morts les moyens d'analyser et de corriger leurs opinions erronées, puisque ces moyens ne sont apportés que par les découvertes subséquentes.

Prenez pour exemple le système de Ptolémée, dont la valeur se réduit littéralement à ce mot de Shakspeare : « Celui qui a le vertige croit que le monde entier tourne autour de lui. » Nous voyons maintenant combien ce système est erroné, parce que nous sommes tous en possession immédiate des moyens de le réfuter. Cette erreur, cependant, a été admise comme vraie pendant des siècles, parce que, lorsqu'elle fut d'abord promulguée, les moyens de réfutation manquaient ; parce que, lorsque ces moyens sont devenus accessibles, le genre humain était tellement identifié, par son éducation, avec cette vérité supposée, qu'il repoussait violemment la preuve de sa fausseté.

Je me suis arrêté aux considérations qui précèdent par deux raisons : la première, pour être favorablement écouté lorsque je demanderai que l'esprit de mes lecteurs se dépouille, autant qu'il sera possible, des idées préconçues par lesquelles ou en faveur desquelles tous sont sujets à se laisser influencer ; la seconde, pour me défendre du reproche de rabaisser l'autorité ou de traiter légèrement les opinions de ceux dont le nom et la mémoire sont l'objet du respect du genre humain. Pour apprécier l'autorité à sa juste valeur, nous devons tenir compte des moyens d'information mis à sa disposition : « Si un nain, perché sur les épaules d'un géant, peut voir plus loin que le géant, » il n'en est pas moins un nain en comparaison du géant.

Le sujet que j'ai à traiter, à savoir les relations ou

les rapports entre elles et avec la matière des diverses affections de la matière, demande tout particulièrement un esprit libre de préjugés. Les différents aspects sous lesquels ces modifications ont été envisagées ; les opinions diverses que l'on s'est formées sur la matière elle-même; les subtilités métaphysiques auxquelles ces opinions conduisent inévitablement si, dans leur étude, on veut sortir du cercle raisonnable des inductions fournies par l'expérience actuelle, présentent des difficultés presque insurmontables.

Jusqu'à quel point mes opinions sur ces matières peuvent-elles prétendre à l'originalité ? Je laisse au lecteur à formuler à cet égard son jugement; elles se sont fortement imprimées dans mon esprit, à une époque où je m'occupais beaucoup de recherches expérimentales ; en les considérant comme ensemble ou système, elles étaient neuves; je le croyais alors, et je le crois encore aujourd'hui. On m'a cité, plus tard, des passages d'ouvrages de divers auteurs, qui semblent exprimer plus ou moins les mêmes idées sur le même sujet, et quelques-uns de ces passages remontent à une époque assez éloignée. Essayer d'analyser ces citations et de définir jusqu'à quel point j'ai été devancé par d'autres, ce serait entamer une discussion, laquelle, probablement, intéresserait peu le lecteur. J'aurai soin, quelquefois, dans le cours de cet ouvrage, de bien faire les distinctions nécessaires à montrer en quoi je diffère de mes devanciers, en quoi je suis d'accord avec eux. Je pour-

rais citer les autorités qui semblent en opposition avec quelques-unes des opinions que j'avance, et celles dont les opinions coïncident avec les miennes; mais ces citations seraient un grand obstacle au développement suivi de mes propres idées, et elles m'exposeraient à encourir le reproche de mal interpréter les idées des autres. J'ai cru, en conséquence, qu'il valait mieux réserver pour les notes les renvois aux divers auteurs qui ont fait allusion au sujet que je traite, tant ceux que j'ai découverts moi-même que ceux qui m'ont été signalés depuis que j'ai donné les leçons dont cet essai n'est qu'un souvenir.

Plus nos recherches s'étendent, et plus nous trouvons que la science est le produit d'une progression lente, que les notions véritables qui nous apparaissent comme neuves ont surgi, quoique peut-être d'une manière indirecte, des modifications successives des opinions traditionnelles. Chaque mot que nous prononçons, chaque pensée que nous concevons, renferme en soi les vestiges, est en soi l'impression de pensées et de mots antérieurs. Comme chaque forme matérielle, si nous pouvions la déchiffrer exactement, est un livre contenant en lui-même l'histoire passée du monde; de même, quelque différente que semble être notre philosophie de celle de nos ancêtres, elle ne se compose cependant que d'additions ou de soustractions faites à la vieille philosophie, et transmises gouttes par gouttes à travers le filtre des antécédents; notre philosophie

sera de même celle des âges qui suivront le nôtre. Les reliques sont au passé ce que les germes sont à l'avenir.

Quoique beaucoup de faits importants et de déductions exactes de ces faits se trouvent dispersés dans les volumineux ouvrages des anciens philosophes, cependant, tout en leur accordant le crédit qu'ils méritent suréminemment, pour avoir voué leur vie entière à des recherches purement intellectuelles, et pour avoir pensé rarement avec frivolité, souvent avec profondeur, rien n'est plus difficile que de saisir et de comprendre leurs idées, parce que dans leurs raisonnements, ils vont sans cesse d'abstractions en abstractions : quoique, comme nous le croyons maintenant, ils aient tiré leurs premières inductions de l'observation des faits, ils ont ensuite élevé sur ces données premières un édifice si complexe de déductions syllogistiques, qu'à moins de suivre les mêmes sentiers, de tracer les mêmes contours sinueux qui les ont conduits à leurs conclusions, ces conclusions resteront pour nous tout à fait inintelligibles. Pour penser comme un autre a pensé, il faudrait être placé dans les conditions où il était placé lui-même; les erreurs des commentateurs proviennent, en général, de ce qu'ils raisonnent sur les raisonnements de leur texte, soit dans un esprit d'obéissance aveugle à ses mots, sans tenir compte des circonstances dans lesquelles ils ont été prononcés, soit en regardant les images apparues à l'écrivain original d'un point de vue dif-

férent de celui d'où il les regardait lui-même. La physique expérimentale, ou même les théories raisonnablement déduites des expériences, sont soumises à ces mêmes difficultés dans un degré beaucoup moindre. Quelque différentes que puissent être les théories ou les explications d'un fait, le fait reste toujours le même ; il porte en lui-même l'expression de la pensée de celui qui l'a découvert ; les phénomènes connus l'ont conduit à tirer de la nature le phénomène nouveau, et quelques mauvais raisonnements qu'il puisse faire sur le fait après sa découverte, les raisonnements qui l'y ont conduit ont une valeur intrinsèque réelle, et, parce qu'ils l'ont conduit des vérités connues aux vérités inconnues, ce n'est que rarement qu'ils peuvent être complétement erronés.

Il existait chez les anciens des opinions très-différentes relativement aux buts que l'on devait poursuivre dans les recherches scientifiques et aux objets qu'on pouvait atteindre par elles. Je n'ai pas à parler ici des buts et des objets moraux, comme, par exemple, l'acquisition du souverain bien, *summum bonum;* mais des conquêtes dans le domaine de la science que ces recherches ont pu réaliser. L'utilité était un des premiers objets en vue et on l'atteignait jusqu'à un certain point par les progrès accomplis dans l'astronomie et la mécanique ; Archimède, par exemple, semble n'avoir pas perdu un instant de vue cette fin de ses recherches. Mais alors qu'ils cultivaient les sciences naturelles par amour pour la science elle-

même et la puissance qu'elle apporte avec elle, le plus grand nombre semble entretenir l'espoir d'arriver à un terme dernier, à une connaissance si élevée, qui les rendrait tellement maîtres des secrets et des mystères de la nature, qu'ils deviendraient capables de savoir avec certitude ce qu'est la matière dans sa constitution la plus intime, et de pénétrer les causes des changements qu'elle manifeste. Quand ils ne pouvaient pas faire de découvertes, ils se livraient à des spéculations transcendantes. Leucippe, Démocrite et autres nous ont transmis leurs notions sur les derniers atomes dont la matière est formée, et sur le mode d'action, *modus agendi,* de la nature dans les diverses transformations que la matière subit.

L'espoir d'arriver aux causes dernières ou aux essences des choses n'a pas cessé d'être un stimulant énergique longtemps après que les spéculations des anciens ont été abandonnées, et même à présent il constitue comme un point de mire général des objets que les sciences physiques peuvent atteindre dans leur élan dernier. François Bacon, le grand réformateur de la science, nourrissait cet espoir; il pensait qu'en soumettant les phénomènes naturels à l'épreuve de l'expérience, nous arriverions à pouvoir les rapporter à des essences premières ou causes d'où ils coulent comme de leur source. Il désigne ces causes sous le nom scolastique de *formes,* terme emprunté à la philosophie ancienne, mais très-différemment appliqué. Bacon semble avoir compris par *forme* l'essence de la qualité; ce en quoi consiste intrinsèque-

ment une qualité donnée, abstraction faite de tout ce qui lui est extérieur, ou ce qui, survenant dans un corps, lui donne cette qualité particulière. Ainsi la forme de la transparence est ce par quoi, s'il était découvert, la transparence serait produite ou communiquée à un corps. Voici un exemple caractéristique de ce que je pourrais appeler l'application synthétique de sa philosophie : « Dans l'or nous trouvons à la fois la couleur jaune, la pesanteur, la malléabilité, la résistance au feu, une certaine solubilité ; ce sont les natures simples de l'or ; celui qui comprend la forme ou la manière de communiquer cette couleur jaune, cette pesanteur, cette ductilité, cette stabilité dans le feu, cette fusibilité, cette solubilité, avec leurs degrés particuliers et leurs proportions définies, peut examiner comment il pourra les unir ensemble dans un même corps de telle sorte qu'il en résulte sa transmutation en or. »

D'un autre côté, la méthode analytique ou « la recherche de l'origine de l'or ou de tout autre métal ou pierre, de la manière dont ils sont engendrés ou passent de l'état de matière première fluide ou de rudiment à l'état de minéral parfait, » est ce qu'on peut concevoir comme constituant ce que Bacon appelle le procédé latent, ou la recherche « dans chaque génération ou transformation des corps, de ce qui s'échappe, de ce qui reste, de ce qui est ajouté, de ce qui est séparé, de ce qui, dans les autres altérations ou déplacements de la matière, donne le mouvement, de ce qui le gouverne, et autres choses

semblables. » Bacon semble avoir cru que les qualités séparées des substances elles-mêmes étaient saisissables, et, sinon susceptibles d'être physiquement isolées, du moins, dans toute hypothèse, susceptibles d'être physiquement transportées et communiquées.

Postérieurement à Bacon la croyance à ce que l'on nomme les causes secondes ou les degrés successifs a existé généralement et est encore très-répandue; on admet que tout phénomène dépend nécessairement d'un autre, et celui-ci d'un autre encore, jusqu'à ce que l'on arrive enfin à la cause essentielle en relation immédiate avec la Cause Première. Cette doctrine règne généralement sur le continent et dans cette contrée; aucune expression ne nous est plus familière que celle-ci : Étudiez les effets pour remonter aux causes.

Au lieu d'admettre que l'objet propre des sciences physiques soit la recherche des causes essentielles, je pense qu'il doit être et qu'il est la recherche des faits et de leurs rapports; car, quoique le mot *cause* puisse être employé, dans un sens secondaire et concret, comme signifiant les forces antécédentes, il me semble cependant tout à fait inapplicable s'il est pris dans le sens absolu : nous ne pouvons pas dire d'un agent physique, quel qu'il soit, qu'il est absolument la cause d'un autre; et si, pour la commodité du langage, il est permis d'employer l'expression de cause seconde ou causalité secondaire, ce ne peut être que relativement au phénomène

spécial dont il s'agit, sans qu'on puisse jamais la généraliser.

L'abus ou mieux la multiplicité de sens du mot cause a été la source d'une grande confusion dans les théories physiques, et les philosophes, même encore actuellement, ne sont point d'accord dans l'idée qu'ils se forment de la causalité. L'opinion le plus généralement reçue relativement à la notion de causalité est celle de Hume, qui la rapporte à une antécédence invariable; c'est-à-dire que nous appelons cause ce qui précède invariablement; effet ce qui suit invariablement. On peut cependant citer plusieurs exemples de conséquence ou mieux de suivance invariable, où l'on ne trouve nullement la relation de la cause à l'effet; ainsi, comme Reed le fait remarquer, et Brown n'a jamais répondu à cette objection d'une manière satisfaisante, le jour précède invariablement la nuit, et pourtant le jour n'est nullement la cause de la nuit. De même la semence précède la plante, elle n'est cependant pas la cause de la plante : lorsque nous étudions les phénomènes physiques, il devient très-difficile de séparer l'idée de causalité de l'idée de force, elles ont été considérées comme identiques par divers philosophes.

Prenons un exemple qui comprenne à la fois l'idée de force et l'idée de causalité. Lorsqu'on lève la vanne, l'eau coule; dans le langage ordinaire on dit que l'eau coule parce que la vanne est levée; la conséquence est invariable; aucune vanne proprement dite ne peut être levée sans que l'eau coule,

et pourtant dans un autre sens, probablement plus exact, c'est la pesanteur de l'eau qui cause son écoulement. Cependant, quoique nous puissions dire avec vérité, dans ce cas, que la pesanteur de l'eau est la cause de l'écoulement de l'eau, nous ne pouvons pas prendre cette proposition dans un sens absolu, et dire généralement que la pesanteur est la cause de l'écoulement de l'eau, puisque l'eau peut couler par d'autres causes, sous l'action, par exemple, de l'élasticité d'un gaz qui force l'eau à couler d'un récipient plein d'air dans un autre récipient où l'on a fait le vide; la pesanteur d'ailleurs peut dans certaines circonstances empêcher l'eau de couler, au lieu de la faire couler.

De quelque manière que nous l'envisagions, nous ne pouvons jamais arriver à la causalité absolue. Si nous considérons la causalité comme une conséquence invariable, nous ne pouvons trouver aucun cas dans lequel un antécédent donné soit le seul antécédent d'un conséquent donné : si l'eau ne pouvait couler par aucune autre cause que l'élévation de la vanne, alors seulement nous serions en droit de dire d'une manière absolue que cette élévation est la cause de l'écoulement de l'eau. De même, si, raisonnant dans l'opinion qui considère la causalité comme une force, nous pouvons dire, dans un cas particulier, que l'écoulement de l'eau est causé uniquement par la pesanteur; nous ne pouvons pas dire d'une manière absolue et générale que la pesanteur est la cause de l'écoulement de l'eau. Quel que

soit l'exemple que nous prenions pour l'examiner, nous trouverons que la causalité peut bien être affirmée dans tel cas particulier, mais qu'elle ne peut pas être maintenue comme proposition absolue et générale; c'est cependant ce que l'on fait constamment. Néanmoins dans chaque cas *particulier* où nous parlons de cause, nous la rapportons habituellement à quelque puissance ou force antécédente : nous ne voyons jamais un mouvement ou autre changement survenir dans la matière sans admettre, au moins implicitement, qu'il a été produit par un autre changement antérieur; et lorsque nous ne pouvons pas le reporter à l'antécédent qui l'a réellement produit, nous ne l'en reportons pas moins dans notre pensée à un certain antécédent; mais il n'est pas du tout évident que cette habitude soit philosophiquement bonne. En d'autres termes, on peut se demander non-seulement si les mots cause et effet peuvent se traduire par antériorité et conséquence; mais même si en fait la cause précède l'effet; si la force doit précéder le changement dans la matière dont on dit qu'elle est la cause.

La priorité actuelle de la cause à l'effet a été révoquée en doute, et leur simultanéité a été défendue avec beaucoup d'habileté. Comme exemple de ce mode d'argumentation on peut dire : l'attraction qui cause le rapprochement entre le fer et l'aimant est simultanée avec le mouvement du fer qu'elle accompagne toujours; le mouvement est une manifestation évidente de la coexistence de la cause ou force, mais

rien ne prouve que l'attraction soit séparée du mouvement par un intervalle de temps. A ce point de vue le temps cesse d'être un élément nécessaire de la causalité; l'idée de cause, excepté peut-être en ce qui concerne la création primitive, cesse d'avoir une existence réelle; les mêmes arguments que nous venons de faire sur la simultanéité de la cause et de l'effet, s'appliqueraient à la simultanéité de la force et du mouvement. Nous ne pouvons pas cependant, même en adoptant cette manière de voir, nous dispenser de prendre en considération l'élément du temps dans la suivance du phénomène; l'effet ainsi considéré comme toujours et simultanément accompagné de la cause propre à le produire, n'en devra pas moins être rapporté à quelque effet antécédent, et cette manière de raisonner restera la même quand nous en ferons l'application à la production successive de tous les changements de la nature.

L'habitude et l'identification nécessaire de la pensée avec les phénomènes nous forcent tellement à nous servir des termes reçus, que nous ne pouvons pas décliner l'emploi du mot cause, pris même dans le sens qui a donné lieu à l'objection qui précède; si nous le rejetions de notre vocabulaire, notre langage, quand nous voudrions parler de changements successifs, serait inintelligible pour la génération présente. L'erreur commune, si tant est que j'aie le droit de la qualifier ainsi, consiste à faire de la causalité un absolu, et à admettre dans tous les cas une

cause secondaire générale, un quelque chose qui n'est pas la cause première, mais qui, si on l'analysait avec soin, devrait posséder tous les attributs de la cause première, avoir une existence indépendante de la matière et supérieure à elle.

Les rapports entre l'électricité et le magnétisme nous offrent un exemple vraiment instructif de notre croyance à la causalité secondaire. Postérieurement à la découverte de l'électro-magnétisme par Oersted, et antérieurement à la magnéto-électricité par Faraday, l'électricité et le magnétisme étaient considérés par les plus hautes autorités scientifiques comme ayant entre eux le rapport de cause et d'effet; c'est-à-dire que l'électricité était regardée comme la cause et le magnétisme comme l'effet; partout où l'on voyait des aimants sans courants électriques apparents pour expliquer leur magnétisme, on imaginait des courants hypothétiques dans le but de sauvegarder l'idée de causalité; mais maintenant le magnétisme peut être appelé avec autant de vérité la cause de l'électricité; et les courants électriques peuvent être également attribués à des lignes hypothétiques de force magnétique; or, dire d'une part que l'électricité cause le magnétisme, de l'autre que le magnétisme cause l'électricité, n'est-ce pas dire que l'électricité cause l'électricité? Cette remarque est ce qu'on pourrait appeler la réduction à l'absurde de la doctrine des causalités.

Prenons un autre exemple qui rendra cette thèse plus intelligible encore. En chauffant un barreau

de bismuth et d'antimoine au contact, on produit un courant électrique, et si les extrémités de la barre sont unies par un fil fin, le fil fin s'échauffera. Cela posé, l'électricité circulant dans les métaux est dite causée par la chaleur, et la chaleur du fil est dite causée par l'électricité, et ces assertions sont vraies si on les prend dans un sens concret ou relatif; mais pouvons-nous pour cela dire abstractivement ou dans un sens général, absolu, que la chaleur est cause de l'électricité, ou que l'électricité est cause de la chaleur? Certainement non; car si chacune de ces assertions était vraie, toutes deux le seraient, et par là même l'effet deviendrait la cause de la cause; ou en d'autres termes une chose serait à elle-même sa cause. Toute autre proposition du même genre se montrera sujette à la même difficulté; jusqu'à ce qu'enfin l'esprit arrive à la conviction que la causalité secondaire absolue n'existe pas; et que les recherches ayant pour objet la découverte des causes essentielles sont des recherches vaines.

La thèse que j'entreprends d'établir dans cet essai, est que les diverses affections de la matière qui constituent l'objet principal de la physique expérimentale, à savoir la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, l'affinité chimique et le mouvement, sont corrélatives ou sont dans la dépendance mutuelle et réciproque l'une de l'autre; qu'aucune d'elles, dans un sens absolu, ne peut être dite la cause essentielle des autres; mais que chacune d'elles peut produire toutes les autres ou se convertir en

elles; ainsi la chaleur peut, médiatement ou immédiatement, produire l'électricité; l'électricité peut produire la chaleur; et ainsi des autres, chacune se perdant à mesure que la force qu'elle produit se développe : il faudra dire la même chose de toutes les autres forces, car c'est une conséquence nécessaire des phénomènes observés qu'une force ne peut être engendrée que par l'évolution d'une force ou de forces préexistantes.

Le mot force, quoique employé dans différents sens par les différents auteurs, peut être défini dans sa signification limitée comme étant ce qui produit le mouvement ou ce qui résiste au mouvement. Je suis très-fortement enclin à croire que les autres affections de la matière que j'ai énumérées ci-dessus, sont et seront finalement résolues en modes de mouvement, et plusieurs arguments que l'on trouvera dans la suite de cet essai viennent à l'appui de cette opinion; mais ce serait aller trop loin pour le moment que d'affirmer leur identité avec des formes de mouvement; j'emploierai donc le mot force, en tant qu'il les concerne, comme exprimant le principe actif inséparable de la matière qui est supposée amener les divers changements qu'elle subit.

Le mot force et l'idée qu'il tend à exprimer peuvent faire naître dans l'esprit des philosophes purement physiciens la même objection qu'a fait naître le mot cause; on peut dire avec le même fondement qu'il ne représente qu'une conception subtile de

l'esprit, et non pas une perception sensible, un phénomène. On peut donner à cette objection la forme suivante : Si la corde d'un arc tendu vient à être coupée, l'arc se redressera lui-même; partant de là, nous disons qu'il y a dans l'arc une *force* élastique qui le redresse; mais si nous ne faisions l'application de nos expressions qu'à cette seule expérience, l'emploi du mot force serait superflu, et n'ajouterait rien à nos connaissances sur cette matière. Tous les renseignements que notre esprit peut recueillir seraient aussi suffisamment obtenus si nous nous bornions à dire : Lorsque la corde est coupée l'arc redevient droit, que si nous disions l'arc redevient droit par l'action de la force élastique. Connaîtrons-nous davantage du phénomène, considéré en lui-même, sans rapport avec les autres phénomènes de même genre, en disant qu'il est produit par une force? Certainement non. Ce que nous connaissons ou ce que nous voyons c'est l'effet; nous ne voyons pas la force, nous voyons le mouvement ou la matière se mouvant.

Prenons maintenant un morceau de caoutchouc et étendons-le; lorsque nous l'abandonnons à lui-même, il reprend sa longueur primitive. Ici, quoique la matière soumise à l'expérience soit réellement différente, nous apercevons un effet ou un phénomène analogue à celui de l'arc tendu. Si, enfin, après avoir suspendu une pomme par un fil, nous venons à couper le fil, la pomme tombe. Ici encore, quoiqu'elle soit moins frappante, nous trouvons une analogie

avec les phénomènes de l'arc tendu ou du caoutchouc étiré.

Si maintenant nous nous servons du mot force comme comprenant ces trois phénomènes différents, nous trouvons qu'il est d'un bon emploi, non pas en ce sens qu'il explique ou qu'il rende plus intelligible le mode d'action de la matière, mais en tant qu'il amène l'esprit à concevoir quelque chose de semblable dans ces trois phénomènes, quelque distincts d'ailleurs qu'ils soient sous d'autres rapports; ce mot devient alors une expression abstraite ou généralisée, et, vu sous ce jour, il acquiert une haute utilité. Quoique j'aie donné trois exemples seulement, il est évident que ce mot force s'appliquerait également à trois cents ou à trois mille.

On dira peut-être que le mot force est employé non pour exprimer l'effet, mais comme étant ce qui produit l'effet; cela est vrai, et c'est dans ce sens, qui est son sens ordinaire, que je l'emploierai dans ces pages; mais, quoique ce terme ait une signification potentielle, dont on ne pourrait pas sortir sans rendre le langage inintelligible, nous n'en devons pas moins nous garder de supposer que nous connaissons plus de l'essence du phénomène parce que nous avons dit qu'il est produit par quelque chose, lequel quelque chose est un mot né de la constance ou de la similitude des phénomènes que nous cherchons à expliquer en recourant à lui. Les relations des phénomènes auxquels nous avons appliqué le mot force ou forces constituent pour nous une connais-

sance réelle ; ces relations peuvent être appelées relations ou rapports des forces entre elles ; la connaissance que nous en avons n'est par là nullement diminuée, et la commodité du langage est grandement accrue ; mais les phénomènes isolés ou individuels ne sont pas pour cela connus plus intimement ; nous n'acquerrons pas une notion plus avancée du pourquoi la pomme tombe, en disant qu'elle est forcée à tomber ou qu'elle tombe par la force de la pesanteur ; en acceptant cette dernière expression, nous acquérons la faculté de pouvoir l'étendre très-utilement à d'autres phénomènes, mais nous ne connaissons rien de plus de la nature du phénomène particulier que dans certaines circonstances la pomme doit tomber.

Dans les exemples qui précèdent, la force a été considérée comme producteur du mouvement, cas dans lequel la manifestation de la force est le mouvement produit ; la matière qui résiste au mouvement est affectée moléculairement, elle est plus ou moins changée dans sa constitution ; ainsi, nous estimons la force employée à lancer un boulet de canon en exprimant la masse de matière lancée et la vitesse avec laquelle elle est lancée. La manifestation de la force, lorsque ce mot est appliqué à la résistance au mouvement, se présente sous des caractères un peu différents. Ainsi, une bande de caoutchouc à laquelle on a suspendu un poids est allongée, et l'on constate un déplacement de ses molécules en comparant leur position actuelle avec

celle qu'elles occupaient lorsqu'elles n'étaient pas soumises à l'action du poids. De même une lame de verre courbée sous l'action du poids qu'on y a suspendu subit un changement dans toute sa structure; ce changement interne est mis en évidence par la transmission à travers le verre d'un rayon de lumière polarisée. On voit ainsi s'établir une relation entre l'état moléculaire des corps et les forces extérieures ou le mouvement visible des masses. Chaque particule de caoutchouc ou de verre doit devenir active et contribuer à résister ou à arrêter le mouvement de la masse de matière qu'on a suspendue à la bande ou à la lame.

Il est difficile, dans de semblables cas, de ne pas reconnaître dans la force une véritable réalité. Nous avons besoin de quelque mot pour exprimer cet état de tension; nous savons qu'il produit un effet, bien que cet effet soit d'un caractère négatif. Quoique, dans cet effort de la matière inanimée, nous ne puissions pas plus assigner à ses derniers éléments le mode d'action qui leur est propre, que nous ne pouvons saisir la liaison de nos propres muscles avec la volonté qui les met en action, nous n'en sommes pas moins expérimentalement convaincus que la matière change d'état sous l'action d'une autre matière, et cette action nous la nommons force.

En plaçant le poids sur le verre, nous avons fait subir à celui-ci un déplacement égal en amplitude à celui qu'il subira de nouveau lorsqu'on enlèvera

la résistance, et ce mouvement de la masse devient l'expression ou la mesure de la force exercée sur le verre. Pendant que celui-ci est dans cet état de tension, la force ne cesse pas d'exister, toujours capable de reproduire le mouvement primitif; et quoiqu'il ne puisse pas produire un mouvement actuel, le poids de la masse ne cesse pas d'agir sur le verre. L'action est suspendue, mais la force n'est pas anéantie.

MOUVEMENT.

Le mouvement, que nous avons pris dans les exemples ci-dessus comme la principale manifestation de la force, est de toutes les affections de la matière la plus saisissable et celle que nous concevons le plus distinctement. Le mouvement visible, ou le changement relatif de position dans l'espace est un phénomène qui se comprend si bien à première vue, qu'essayer de le définir ce serait le rendre plus obscur; mais avec le mouvement comme avec toutes les apparences physiques, il est certaines ombres épaisses ou des limites indéfinies au sein ou au delà desquelles le mode sensible d'action disparaît graduellement; pour découvrir la continuation de l'existence du phénomène, nous sommes forcés de recourir à d'autres moyens d'investigation que les moyens ordinaires; et il arrive souvent que nous appliquons d'autres noms ou des noms différents aux effets que nous avons ainsi reconnus.

Ainsi le son est un mouvement; et quoique, dans les périodes reculées de la philosophie, l'identité du

son et du mouvement ne pût pas être constatée, et qu'ils fussent considérés comme des affections distinctes de la matière (on a mis en avant, il est vrai, à la fin du dernier siècle, que le son était transmis par les vibrations d'un éther), nous résolvons si facilement maintenant le son en mouvement que, pour ceux qui sont familiarisés avec l'acoustique, les phénomènes du son présentent immédiatement à l'esprit l'idée de mouvement, et du mouvement de la matière ordinaire.

De même pour ce qui concerne la lumière : il n'est pas douteux maintenant que la lumière se meuve ou soit accompagnée de mouvement. Mais ici les phénomènes du mouvement ne sont pas rendus évidents par la perception ordinaire des sens, comme le serait, par exemple, le mouvement d'un projectile se déplaçant visiblement, mais par une déduction inverse des relations connues du mouvement avec le temps et l'espace : comme toutes les observations nous apprennent que les corps emploient du temps à se mouvoir d'un point à l'autre de l'espace, nous en concluons que partout où un phénomène continu est rendu évident sur deux points différents de l'espace en différents temps, il y a mouvement, quoique nous ne puissions pas suivre ce mouvement dans sa progression. Une déduction semblable nous a convaincus du mouvement de l'électricité.

De même que dans le langage ordinaire nous parlons du son en mouvement, quoique le son soit lui-même un mouvement; il ne nous faudra pas un

grand effort d'imagination pour concevoir que la lumière et l'électricité soient des mouvements sans être des choses en mouvement. Si l'on frappe à l'une des extrémités d'une longue barre, un son est aussitôt perceptible à l'autre extrémité. Nous savons que ce son est un mode de vibration de la barre; et le mot son n'est en réalité que l'expression du mode de mouvement imprimé à la barre : de même l'une des extrémités d'une colonne d'air ou de verre, qui reçoit une impression lumineuse, fait naître à l'autre extrémité un effet sensible de lumière; cet effet peut être également conçu comme une vibration, comme un mouvement transmis de la colonne transparente; mais nous aurons plus tard à discuter cette question, et nous voulons nous renfermer pour le présent, quant au mouvement, dans les limites plus restreintes qu'on assigne à ce mot.

Quand il s'agit des phénomènes de mouvements perceptibles aux sens, la conception de notre esprit est invariablement associée à ce quelque chose auquel nous avons déjà fait allusion, et auquel on a donné le nom de force; et cette conception, si nous l'analysons, nous ramène à un mouvement antécédent. Si nous exceptons la production du mouvement par la chaleur, la lumière, etc., que nous étudierons plus tard, lorsque nous voyons un corps en mouvement, ce mouvement nous apparaît comme lui ayant été communiqué par une matière mise d'abord elle-même en mouvement.

La nature ne nous offre aucun exemple d'un repos

absolu ; toute matière, aussi loin que nous pouvons pousser nos investigations, est sans cesse en mouvement; et non-seulement en masse, comme dans les globes planétaires, mais même dans ses molécules, et jusque dans sa constitution la plus intime : ainsi chaque variation de température produit un changement moléculaire au sein de toute la substance chauffée ou refroidie; les actions lentes chimiques ou électriques, les actions de la lumière ou des forces rayonnantes invisibles, sont toujours en jeu; de sorte que de fait nous ne pouvons pas affirmer de quelque portion de matière que ce soit qu'elle est absolument en repos. En supposant cependant que le mouvement n'est pas une qualité essentielle de la matière, que la matière peut être en repos, la matière au repos ne pourra jamais cesser par elle-même d'être en repos; elle ne se mouvra pas à moins qu'elle ne soit poussée au mouvement par quelque autre corps lui-même en mouvement, ou par un corps qui s'est mû; cette proposition s'applique non-seulement au mouvement d'impulsion, comme lorsqu'un boulet au repos est frappé par un ressort en mouvement, ou pressé par un ressort qui a été préalablement mis en mouvement; mais encore aux mouvements causés par des attractions comme celles du magnétisme ou de la pesanteur. Supposons un morceau de fer au repos en contact avec un aimant au repos; si nous voulons que le fer soit mis en mouvement par l'attraction de l'aimant, il faudra d'abord mettre le fer ou l'aimant en mouvement; de même

pour qu'un corps tombe, il faut d'abord que nous l'ayons soulevé. Un corps en repos continuera donc par là même de rester toujours en repos, et un corps une fois en mouvement continuera indéfiniment de se mouvoir dans la même direction et avec la même vitesse, à moins qu'il ne soit empêché par un autre corps, ou qu'il ne soit affecté par quelque force autre que celle dont à l'origine il a reçu l'impulsion. Ces propositions semblent quelque peu arbitraires; et on a mis en doute qu'elles soient des vérités nécessaires; elles ont été longtemps reçues comme des axiomes; dans tous les cas il ne peut y avoir aucun inconvénient à les accepter comme des *postulata*. On croit cependant très-généralement que si le mouvement visible ou palpable d'un corps est arrêté par son choc contre un autre corps, le mouvement cesse, et la force qui le produit est anéantie.

Cela posé, l'opinion que je me hasarde à énoncer ici, est que la force ne peut pas être anéantie, mais qu'elle est seulement sous-divisée ou altérée dans sa direction et dans ses caractères. Parlons d'abord de la direction. Balançons un instant notre main : le mouvement qui a cessé en apparence est repris par l'air, de l'air il passe dans les murs de la chambre, etc., et par des ondes, tour à tour directes ou répercutées, il va se fractionnant, mais sans être jamais détruit. Il est vrai que, jusqu'à un certain point, nous manquons de moyens pour découvrir le mouvement, après ses subdivisions si ténues, qui défient nos moyens d'appréciation les plus délicats; mais

nous pouvons étendre indéfiniment notre aptitude à le discerner, lorsque nous le limitons convenablement dans sa direction ou que nous augmentons la délicatesse de nos méthodes d'analyse. Ainsi, quand nous remuons la main, dans une masse d'air indéfinie, le mouvement communiqué à l'air n'est pas sensible pour une personne placée à quelques décimètres de distance; mais si un piston de même surface que la main, est poussé avec la même rapidité dans un tube, la bouffée d'air, à l'orifice du tube, sera sentie distinctement à quelques mètres de distance. Il n'y a pas dans le second cas une plus grande quantité de mouvement que dans le premier, mais parce que la direction du mouvement est restreinte, les moyens dont nous nous servons pour le découvrir sont plus efficaces.

En la restreignant encore plus, comme dans le fusil à air, nous acquérons le pouvoir de découvrir le mouvement, et de mouvoir d'autres corps à de bien plus grandes distances. La bouffée d'air qui dans le fusil à vent projette la balle à plus de cent mètres, si on lui permettait de se répandre en dehors de la direction restreinte qu'on lui a d'abord imposée, comme lorsqu'on fait crever une vessie, ne serait pas sensible à un mètre de distance, quoique la même quantité de mouvement soit imprimée à l'air environnant.

On peut cependant demander ce qu'il advient de la force, lorsque le mouvement est arrêté ou empêché par le mouvement en sens contraire d'un autre

corps ? On croit généralement que le choc produit le repos ou une destruction entière du mouvement, par suite, l'anéantissement de la force ; il peut en être ainsi, en effet, relativement au mouvement des masses, mais une nouvelle force ou un nouveau genre de force naît alors, et sa manifestation, au lieu de mouvement visible, est de la chaleur. Je me hasarde à regarder la chaleur qui résulte du frottement ou de la percussion comme une continuation de la force associée d'abord avec le corps en mouvement ; laquelle, après le choc de l'autre corps, cesse d'exister comme mouvement grossier et palpable, mais continue d'exister comme chaleur.

Ainsi, supposons que deux corps A et B se meuvent dans des directions opposées (faisons abstraction, pour le moment, de toute résistance étrangère, comme celle de l'air, etc.), s'ils passent à côté l'un de l'autre sans se toucher, ils continueront de se mouvoir dans leur direction respective avec la même vitesse ; mais s'ils se touchent l'un l'autre, la vitesse du mouvement de chacun sera diminuée, et chacun aussi s'échauffera : si le contact est léger, et cause une légère diminution de vitesse, ou si les surfaces des corps sont huilées, la chaleur développée sera très-faible ; mais si le contact est tel qu'il en résulte une grande diminution de vitesse, comme dans la percussion, ou si les surfaces en contact sont couvertes d'aspérités, alors la chaleur développée sera grande ; de sorte que dans tous les cas la chaleur résultante est proportionnelle à la diminution de

vitesse. Si au lieu de résister, et par conséquent d'empêcher le mouvement du corps A, le corps B cède et prend part lui-même au mouvement communiqué initialement au corps A, il se produira d'autant moins de chaleur que le mouvement du corps B sera plus grand ; car, cette fois, le travail de la force se continue sous forme de mouvement palpable : ainsi, la chaleur résultant du frottement de l'axe d'une roue, est diminuée lorsqu'on entoure cet axe de rouleaux mobiles ; ceux-ci, en effet, prennent une partie du mouvement primitif de l'axe ; et moins, par cette disposition, le mouvement initial est empêché, moins la chaleur développée est grande. De plus, si un corps se meut dans un fluide, quoiqu'il se produise encore de la chaleur, cette chaleur est très-peu de chose en apparence, parce que les particules du fluide se mettent elles-mêmes en mouvement, et continuent le mouvement originairement communiqué au corps mobile ; pour chaque portion de mouvement communiqué à ces particules le corps perd une quantité équivalente de son mouvement ; ce n'est que quand les particules et le corps perdent tous deux leur équivalent de mouvement qu'il naît un équivalent de chaleur.

Inversement à cette proposition, il doit arriver que plus les corps qui se choquent sont rigides, plus sera grande la chaleur développée par le frottement ; et nous trouvons qu'il en est en effet ainsi. Les cailloux, l'acier, les pierres dures, le verre, les métaux sont les corps qui par frottement ou par percussion

développent la plus grande quantité de chaleur; l'eau, au contraire, l'huile, etc., développent peu ou ne développent pas de chaleur; par la mobilité si grande de leurs molécules, ces liquides diminuent même son développement lorsqu'on les interpose entre les corps rigides en mouvement. Ainsi, lorsque nous huilons l'axe des roues, nous observons un mouvement plus rapide de ces roues, mais il se développe moins de chaleur; si, au contraire, nous augmentons la résistance au mouvement, comme en armant d'aspérités les points de contact, de telle sorte que chaque particule choque les autres et empêche leur mouvement, nous avons une diminution de mouvement de la masse, mais la chaleur développée est accrue : si les corps sont lisses, mais si au lieu de les faire glisser sans contact intime l'un sur l'autre, on les presse d'abord fortement l'un contre l'autre, puis qu'on les fasse frotter, on arrivera, dans plusieurs cas, à développer plus de chaleur que dans le frottement des corps couverts d'aspérités, parce que l'on amène ainsi au contact un plus grand nombre de particules, et que l'on crée une résistance plus grande au mouvement initial. Il ne se présente à mon esprit aucun cas de chaleur résultant du frottement qui ne puisse s'expliquer dans cette théorie; le frottement, à ce point de vue, n'est que du mouvement empêché. Plus la résistance au mouvement est grande, plus il faut employer de force pour la surmonter, plus la chaleur développée ou résultante est grande; cette chaleur résultante,

qui est la continuation d'une force indestructible, est à son tour capable, comme nous allons le voir, de reproduire le mouvement palpable, ou le mouvement de masses définies.

Quelle que soit la nature des corps, qu'ils soient rudes ou lisses, solides ou fluides, pourvu que la force communiquée initialement soit la même, et que le mouvement ait été totalement arrêté ou empêché, il y aura eu la même quantité de chaleur développée; quoique, lorsque le mouvement s'est dissipé ou perdu sur un plus grand nombre de points matériels, il soit naturellement plus difficile de percevoir la chaleur résultante, à cause de sa dissémination plus grande. Le frottement des fluides produit de la chaleur; cet effet a été constaté d'abord, je le crois, par M. Mayer. La chaleur totale née du frottement des fluides doit, comme je l'ai dit, être égale à celle née du frottement des solides; car, quoique chaque particule liquide produise peu de chaleur, parce que le mouvement est facilement pris par les particules environnantes, cependant, quand avec le temps la masse entière a atteint l'état de repos, il y a eu de fait le même empêchement au mouvement initial que dans le frottement des solides, en supposant que le mouvement ait été communiqué par une même force primitive. Si l'on prend la chaleur en masse, et qu'on fasse entrer en ligne de compte la capacité spécifique pour la chaleur des substances employées, on la trouvera probablement la même, quoiqu'elle soit moindre en apparence; dans le cas

des solides, la chaleur se développe sur certains points définis, tandis que dans le cas des fluides elle est disséminée; le temps et l'espace pendant ou à travers lesquels le mouvement se propage sont différents dans les deux cas ; de sorte que dans le dernier cas la chaleur est plus facilement soustraite par les corps environnants.

Si le mouvement initial, au lieu d'être arrêté par le choc d'autres corps, comme dans le frottement ou la percussion, est empêché par l'emprisonnement ou la compression, comme lorsque la dilatation d'un gaz est rendue impossible par des moyens mécaniques, il y a également de la chaleur développée : ainsi, lorsqu'on se sert d'un piston pour comprimer l'air dans un vase fermé, l'air comprimé et, par son intermédiaire, les parois du vase sont échauffées; l'air étant ainsi rendu incapable de prendre et d'emporter le mouvement initial, communique le mouvement moléculaire ou l'expansion à tous les corps en contact avec lui. Réciproquement, si nous amenons l'air à se dilater par un mouvement mécanique, comme en retirant le piston, il se produit du froid. De même, lorsque les particules d'un solide sont comprimées ou rapprochées les unes des autres, comme quand on aplatit au marteau une barre de fer, il y a de la chaleur produite en sus de celle qui serait née de la percussion seule sans compression. Dans ce dernier cas, nous ne pouvons pas produire facilement l'effet inverse, ou engendrer du froid par la dilatation mécanique d'un solide; il se

passe néanmoins quelque chose de semblable dans les phénomènes de dissolution, où les particules du solide sont détachées les unes des autres et isolées à de plus grandes distances; aussi dans le cas de solution il y a du froid produit.

Nous sommes en droit de conclure d'une série très-étendue d'observations et d'expériences que, sauf quelques exceptions particulières dont je parlerai plus tard, toutes les fois qu'un corps est comprimé ou amené à des dimensions moindres, il s'échauffe ou fait dilater les substances environnantes; que toutes les fois qu'il se dilate ou augmente de volume, il se refroidit ou fait contracter les substances environnantes.

M. Joule a fait plusieurs expériences, dans le but d'arriver à déterminer quelle quantité de chaleur est produite par une action mécanique donnée. Son mode d'expérimentation était le suivant : Un appareil, formé d'aubes ou de palettes de laiton ou de fer, était mis en rotation dans un bain d'eau ou de mercure; la puissance qui imprimait le mouvement de rotation était un poids soulevé, comme le poids des horloges, à une certaine hauteur; en agissant, pendant sa chute, sur un treuil ou une poulie, il communiquait le mouvement à la roue à aubes; l'eau ou le mercure servaient à la fois de milieu frottant et de calorimètre; la chaleur, développée, était mesurée par un thermomètre à mercure très-délicat. Les résultats de ses expériences lui semblent prouver que la chute d'un poids de

423,5 kilogrammes, tombant d'un mètre, est capable d'élever d'un degré du thermomètre centigrade la température d'un kilogramme d'eau. Les expériences de M. Joule ont été faites avec une délicatesse exceptionnelle; il a poussé l'approximation jusqu'au millième de degré de température, et un très-grand nombre de ses expressions thermométriques de la force sont comprises entre les limites d'un seul degré! D'autres physiciens sont arrivés à des résultats numériques très-différents; nous aurons occasion dans la suite de considérer quelques-uns de ces résultats; la question n'est pas encore complétement résolue.

Jusqu'ici nous n'avons établi aucune distinction entre les caractères physiques des corps frottants; la nature, cependant, nous présente une différence remarquable dans le caractère ou le mode de la force éliminée ou engendrée par le frottement, suivant que les corps qui frottent l'un contre l'autre sont homogènes ou hétérogènes; s'ils sont homogènes, il n'y a que de la chaleur produite; s'ils sont hétérogènes, ce sera de l'électricité.

Nous trouvons, il est vrai, des exemples cités par certains auteurs d'électricité développée par le frottement de corps homogènes; mais, comme je l'ai dit dans mes premières leçons, je n'ai pas trouvé que ces faits fussent vérifiés par mes propres expériences. Mes conclusions ont été confirmées par quelques expériences du professeur Erman, communiquées à la réunion de l'Association britannique,

dans l'année 1845, et par lesquelles il a constaté qu'il ne résulte pas d'électricité du frottement de substances parfaitement homogènes, comme, par exemple, des deux extrémités d'une barre rompue en deux. Des expériences de ce genre sont, il est vrai, très-rarement exemptes de faibles courants électriques, en raison de la difficulté pratique que l'on éprouve à remplir les conditions de parfaite homogénéité, soit dans les substances elles-mêmes, soit dans leurs dimensions, leur température, etc.; mais ces courants sont tout à fait insignifiants et varient dans leur direction, leur résultante est comme absolument nulle; il serait d'ailleurs difficile de concevoir qu'il pût en être autrement. Comment, en effet, nous serait-il possible de nous représenter ou de définir la direction d'un courant qui irait du même corps au même corps, ou de formuler les instructions à suivre pour répéter de semblables expériences ? On serait tout à fait inintelligible si l'on disait qu'en frottant l'un contre l'autre deux morceaux de bismuth, de fer ou de verre, on a fait naître un courant qui circule du bismuth au bismuth, du fer au fer, du verre au verre, car on verrait jaillir immédiatement cette question : De quel bismuth à quel bismuth ira le courant? On pourra, pour essayer de répondre, appeler un des morceaux A et l'autre B; mais cette distinction, qui ne s'appliquerait qu'aux échantillons particuliers de l'expérience, n'est, au fond, qu'une distinction nominale ou extrinsèque, et non réelle ou intrinsèque; rien n'empêcherait d'appeler

B la barre qu'on a appelée A, et réciproquement; la barre, alors, vers laquelle coulait l'électricité positive serait celle vers laquelle coule l'électricité négative. Nous pouvons bien dire, au contraire, que l'électricité va du verre dépoli au verre poli, du fer fondu au fer forgé, parce que là il n'y a plus d'homogénéité. Il est, en outre, concevable que si le mouvement est continu dans une direction déterminée, le frottement de deux corps homogènes puisse faire naître de l'électricité. Si A et B frottent l'un contre l'autre, en tournant dans des directions opposées, des courants concentriques d'électricité positive et négative peuvent être conçus circulant dans l'intérieur des métaux, et on peut les définir en ayant égard à la direction de leur mouvement. Ce serait, il est vrai, un phénomène différent de ceux que nous venons d'étudier, et il est encore inconnu expérimentalement; mais, sans quelque différence des deux substances, soit dans la qualité, soit dans la direction du mouvement, les effets électriques seraient indéfinissables, sinon inconcevables.

Nous pouvons donc dire que, dans l'état présent de la science, là où les corps qui frottent l'un contre l'autre sont des corps homogènes, c'est de la chaleur et non de l'électricité qui résulte du frottement; là où les corps frottants sont hétérogènes, nous pouvons affirmer en toute sécurité qu'il y a de l'électricité engendrée par le frottement, quoique cette électricité soit toujours accompagnée de chaleur dans une proportion plus grande ou plus petite. Mais, quand nous

arrivons à cette question : Quel est le rapport de la quantité d'électricité engendrée à la quantité de force mécanique employée, suivant les différents caractères des substances frottées l'une contre l'autre? nous trouvons des résultats très-complexes. Ces corps peuvent différer par tant de particularités qui influencent plus ou moins le développement de l'électricité, comme leur constitution chimique, l'état de leurs surfaces, leur mode d'agrégation, leur transparence, leur opacité, leur pouvoir conducteur de la chaleur, etc., etc.; que les *normæ,* les conditions de leur action sont très-difficiles à atteindre. Comme règle générale, cependant, on peut dire que le développement de l'électricité est plus grand si les substances employées diffèrent grandement par leurs qualités physiques et chimiques, et surtout par leur pouvoir conducteur qui dépend probablement de leur état moléculaire; mais les lois de ce développement n'ont pas encore été déterminées, même approximativement.

J'ai dit, relativement aux diverses forces ou affections de la matière, que chacune d'entre elles peut *médiatement* ou *immédiatement* produire les autres, et c'est tout ce que je puis me hasarder à affirmer d'elles dans l'état actuel de la science; mais, après beaucoup de réflexions, j'incline fortement vers l'opinion que la science marche rapidement vers la démonstration de relations immédiates ou directes entre toutes ces forces. Là où, jusqu'à présent, on n'est pas encore parvenu à établir une relation im-

médiate entre quelques-unes d'entre elles, où l'on n'a encore pu les faire naître l'une de l'autre que médiatement, c'est, en général, l'électricité qui forme l'anneau intermédiaire ou le terme moyen.

Le mouvement, donc, produit immédiatement *la chaleur* et *l'électricité*, et l'électricité produite par le mouvement engendre *le magnétisme*, force qui est toujours développée par des courants électriques perpendiculairement à la direction de ces courants, comme nous l'expliquerons pleinement dans la suite. *La lumière* aussi est facilement produite par le mouvement, soit directement, comme lorsqu'elle accompagne la chaleur née du frottement, soit médiatement, par l'électricité résultant du mouvement, comme dans l'étincelle électrique, qui possède beaucoup des attributs de la lumière solaire, différant d'elle seulement dans les points par lesquels diffèrent entre elles les lumières émanant de diverses sources ou vues à travers des milieux différents, comme, par exemple, par la position des raies fixes du spectre ou les rapports des espaces occupés par les rayons de diverses réfrangibilités. Dans les combinaisons ou décompositions que font naître les pointes terminales des conducteurs de la machine électrique plongée dans divers milieux chimiques, nous trouvons la production de *l'affinité chimique* par l'électricité, dont le mouvement a été la source première. Enfin, *le mouvement* peut, à son tour, être produit par les forces qui sont émanées du frottement. Ainsi, la divergence des feuilles ou des pailles de l'électro-

mètre, les révolutions de la roue électrique, la déviation de l'aiguille magnétique, sont, lorsqu'ils résultent de l'électricité de mouvement, des mouvements palpables reproduits par l'intermédiaire de modes de force qui ont eux-mêmes été engendrés par le mouvement.

CHALEUR.

Si maintenant nous prenons la CHALEUR comme point de départ, nous trouverons que les autres modes de force peuvent être aisément produits par elle. Considérons d'abord le mouvement : il est si généralement, je pourrais dire si invariablement l'effet immédiat de la chaleur que nous avons à peu près sinon entièrement résolu la chaleur en mouvement, que nous ne la voyons plus que comme une force mécanique répulsive, une force antagoniste de l'attraction de cohésion ou d'agrégation, et tendante à *mouvoir* les particules de tous les corps, ou à les séparer les unes des autres.

Il peut être bon de dire ici à l'avance, qu'en me servant du mot *particules* ou *molécules,* que j'emploierai fréquemment dans cet essai, je n'entends pas les prendre dans le sens des atomistes, ou affirmer que la matière est constituée de particules indivisibles ou d'atomes. Je me sers seulement de ce mot dans le but nécessaire de distinguer entre l'action des éléments physiques indéfiniment petits de

la matière et l'action des masses ayant une grandeur sensible; comme on se sert dans le même but avec avantage, dans un sens abstrait, des mots *lignes, points,* quoique de fait il n'existe pas de grandeur qui ait longueur et largeur sans avoir épaisseur, et quoiqu'une grandeur sans parties ou sans dimensions soit le rien absolu.

Si nous laissons de côté la sensation que la chaleur produit dans notre propre corps, et si nous considérons seulement la chaleur dans ses effets sur la matière inorganique, nous trouvons, à quelques exceptions près, que je vais bientôt signaler, que les effets de ce qu'on nomme chaleur sont simplement une expansion, une dilatation de la matière sur laquelle elle agit; et que la matière, ainsi dilatée, a le pouvoir, en se contractant ensuite, de communiquer l'expansion à tous les corps en contact avec elle. Ainsi, si le corps est un solide, du fer, par exemple; un liquide, de l'eau; ou un gaz, l'air atmosphérique; chacun de ces corps, lorsqu'il est chauffé, se dilate dans toutes les directions : dans les deux premiers cas, en augmentant la chaleur jusqu'à un certain point, nous changeons le caractère physique de la substance, le solide devient un liquide, et le liquide devient un gaz. Ce liquide et ce gaz cependant sont encore dilatables, le dernier surtout; au delà d'une certaine période, sa dilatation devient promptement et indéfiniment de plus en plus grande.

Mais comment s'y prend-on ordinairement, de

fait, pour chauffer une substance, pour augmenter sa chaleur ou élever sa température? On l'approche simplement de quelque autre substance chauffée, de quelque autre substance dilatée, et cette autre substance se refroidit ou se contracte à mesure que la première se dilate. Écartons maintenant de notre esprit l'impression que la chaleur est elle-même quelque chose de substantiel, une substance; et, supposons que nous voyons ces phénomènes pour la première fois, sans aucune notion préconçue sur ce sujet; n'introduisons aucune hypothèse, et exprimons purement, et aussi simplement qu'il est possible, les faits dont nous avons acquis la connaissance. A quoi se réduiront-ils? A ceci : que la matière a, appartenant à elle, un pouvoir moléculaire répulsif, un pouvoir de dilatation, lequel est communicable par contiguïté ou proximité.

La chaleur, ainsi considérée, est un mouvement; et, ce mouvement moléculaire, nous pouvons le changer sans peine en mouvement de masses ou en mouvement avec la forme ordinaire et palpable : par exemple, dans la machine à vapeur, le piston et toutes les masses de matière qui l'accompagnent sont mus par la dilatation moléculaire de la vapeur d'eau.

Pour produire un mouvement continu, il faudrait mettre en jeu l'action alternative de la chaleur et du froid. Une certaine portion d'air, par exemple, chauffée au-dessus de la température de l'air ambiant, se dilate : si alors nous le faisons

agir sur un piston mobile, il le poussera jusqu'au point où la tension ou la force élastique de l'air emprisonné sera égale à celle de l'air ambiant. Si l'air emprisonné est maintenu à ce point, le piston demeurera stationnaire; mais si on refroidit l'air emprisonné, l'air extérieur exerçant alors une pression relativement plus grande, le piston reviendra à sa position première : c'est ainsi, comme on le verra lorsque nous arriverons à la force magnétique, qu'un aimant, placé dans une position particulière, met en mouvement le fer situé près de lui; mais que pour rendre le mouvement continu, ou pour obtenir une puissance mécanique, il faut démagnétiser l'aimant, sans quoi l'on arriverait bientôt à un équilibre stable.

Dans le cas du piston mû par l'air chaud, le mouvement de la masse devient l'expression ou la mesure de la quantité de chaleur, c'est-à-dire de dilatation des molécules; et nous ne pouvons, par aucune des méthodes connues, estimer la chaleur autrement que par son action purement dynamique. Les diverses sortes de thermomètre et de pyromètre sont toutes des mesureurs de la chaleur par le mouvement; dans tous ces instruments, des corps solides, liquides, ou aériformes sont dilatés ou allongés, c'est-à-dire mus dans une direction déterminée; et, soit par leur propre mouvement visible, soit par le mouvement d'un index ou aiguille, ils communiquent à nos sens le montant de la force par laquelle ils ont été mis en mouvement. Il existe, en effet, quelques

expériences qui tendent à prouver que la chaleur fait naître une action répulsive entre deux masses séparées. Fresnel a vu que des corps mobiles, chauffés dans un récipient vide, se repoussent l'un l'autre à des distances sensibles ; et M. Baden Powell a trouvé que les anneaux colorés, communément appelés anneaux de Newton, changent de largeur et de position, lorsqu'on chauffe les verres entre lesquels ils se montrent, d'une manière qui prouve que les deux verres se repoussent l'un l'autre. Il y a cependant quelque difficulté à présenter ces phénomènes à l'esprit sous le même aspect que l'action répulsive moléculaire de la chaleur.

Les phénomènes connus sous le nom de chaleur latente ont été généralement considérés comme très-favorables à l'opinion qui veut que la chaleur soit ou une matière actuelle, ou, dans tous les cas, une entité substantive, et non un mouvement ou une affection de la matière ordinaire.

L'hypothèse de la matière latente, j'ose le penser, non sans quelque hésitation, est dangereuse ; c'est quelque chose de semblable au vieux principe du phlogistique ; on ne peut ni la toucher, ni la voir, ni l'entendre ; c'est, en réalité, une de ces pures conceptions subtiles de l'esprit, qu'on me permette de le dire, auxquelles on ne doit recourir que dans le cas de nécessité absolue, d'autant plus qu'on pourrait être tenté d'introduire des entités semblables dans d'autres ordres de phénomènes naturels, en ajoutant encore à l'échafaudage d'hypo-

thèses qui ne sont que très-rarement indispensables, et qu'il ne faut employer qu'avec beaucoup de réserve même dans la première période d'une découverte. Comme exemple, et il me semble frappant, des effets dangereux du recours à ces entités hypothétiques, je citerai la doctrine analogue de la lumière invisible ; et qu'on ne croie pas qu'en parlant comme je vais le faire, je veuille manquer de respect envers l'auteur si distingué de cette théorie, pas plus qu'en discutant la doctrine de la chaleur latente, je ne puis être supposé chercher à enlever quoi que ce soit au mérite de l'illustre inventeur des faits que cette doctrine cherche à expliquer. Est-ce que *lumière invisible* n'est pas une contradiction dans les termes eux-mêmes? Est-ce que la lumière n'a pas toujours été considérée comme l'agent qui affecte l'organe de la vue? Lumière invisible c'est ténèbres, et, si elle existe, alors les ténèbres sont la lumière. Je sais qu'on peut dire qu'un œil peut percevoir la lumière là où un autre ne la perçoit pas; qu'un chat peut voir là où un homme ne verrait pas; qu'un insecte peut voir là où un chat ne verrait pas; mais la lumière n'est pas invisible pour celui qui la voit : la lumière, ou mieux l'objet vu par le chat, peut être invisible pour l'homme, mais il est visible pour le chat; et, par conséquent, on ne peut dire d'une manière absolue qu'il est invisible. Si nous allons plus loin, et que nous trouvions un agent qui affecte certaines substances de la même manière que le fait la lumière, mais qui ne puisse pas, autant

que nous le sachions, affecter l'organe visuel de quelque animal que ce soit, ne serait-ce pas une dénomination erronée que celle qui appellerait cet agent lumière ? Il est plusieurs cas dans lesquels la déviation de la signification une fois donnée à des mots, est tellement entrée dans l'usage ordinaire, qu'il est impossible de l'éviter; mais j'ose dire qu'il faut se défendre autant qu'on peut de multiplier le nombre de ces cas, parce que c'est faire tort à la précision du langage, précision qui est une des plus sûres gardiennes des connaissances acquises, et dont l'absence a causé matériellement tant de dommage aux sciences physiques.

Passons maintenant à l'examen concis de la question de la chaleur latente, et voyons si les phénomènes ne peuvent pas être aussi bien, sinon mieux expliqués sans l'hypothèse d'une matière latente, dont l'idée présente les mêmes difficultés que celle de la lumière invisible, quoiqu'elle soit plus sanctionnée par l'usage. La chaleur latente est supposée être la matière de la chaleur dans un état masqué et dormant, en combinaison avec la matière ordinaire, incapable d'être mise en évidence par aucun réactif, aussi longtemps que la matière avec laquelle elle est combinée reste dans le même état physique, mais qui peut être communiquée à d'autres corps ou être absorbée par eux, lorsque la matière avec laquelle elle est combinée change d'état. Pour prendre un exemple bien connu : un kilogramme ou un poids donné d'eau à 75°, mêlée à un poids égal d'eau à

zéro, prend la température moyenne de 37°,5 ; tandis que de l'eau à 75°, mêlée avec un poids égal de glace à zéro, est ramenée à la température de zéro. Dans la théorie de la chaleur latente, ce phénomène s'explique de la manière suivante : dans le premier cas, celui du mélange de l'eau avec l'eau, les deux corps étant dans un même état physique, aucune chaleur latente n'est rendue sensible ou aucune chaleur sensible rendue latente ; mais, dans le second, la glace, changeant de condition, en passant de l'état solide à l'état liquide, prend au liquide autant de chaleur qu'il est nécessaire pour se maintenir à l'état liquide ; elle rend cette chaleur latente, et la retient combinée avec elle aussi longtemps qu'elle demeure liquide, sans qu'elle puisse être mise en évidence par aucun réactif thermoscopique.

Je crois que ce phénomène et les phénomènes semblables, où la chaleur est liée à un changement d'état, peuvent être expliqués et nettement compris sans aucun recours à la conception de la chaleur latente, quoiqu'il faille quelque effort de l'esprit pour ne pas s'y laisser entraîner, et ne considérer simplement le phénomène qu'au point de vue des relations dynamiques. Pour nous aider à le concevoir ainsi, comparons d'abord, avec des actions purement mécaniques, de simples effets de chaleur où aucun changement d'état n'intervient (je parle de changement d'état comme le passage de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux). Ainsi, plaçons au sein d'un récipient une vessie, et

chauffons l'air intérieur à une température plus élevée que l'air qui entoure la vessie, celle-ci se dilatera; de même, augmentons mécaniquement la tension de l'air intérieur au moyen d'une machine à compression, la vessie se dilatera; refroidissons l'air extérieur ou diminuons mécaniquement sa pression au moyen de la machine pneumatique, la vessie se dilatera encore; réciproquement, augmentons la force répulsive extérieure, soit par une élévation de température, soit par une pression mécanique, la vessie se contractera. Dans ces effets mécaniques, la force qui cause la distension dérive et se produit aux dépens de la puissance mécanique, comme la force musculaire, la pesanteur, la réaction des ressorts élastiques, ou toute autre force semblable employée à mettre en jeu la pompe à air. Dans les effets calorifiques, la force est dérivée de l'action chimique au sein de la lampe ou de la source de chaleur employée.

Reprenons la même expérience, mais en nous arrangeant de telle sorte que la force qui produit l'expansion dans un cas produise dans l'autre une contraction relative. Ainsi, si deux vessies, unies entre elles par un col commun, sont à moitié remplies d'air, et que l'on fasse contracter une des vessies en la comprimant, l'autre se dilate, et *vice versa*; de même, une vessie partiellement remplie d'air froid, et contenue dans une autre vessie remplie d'air chaud, se dilate pendant que l'espace entre les vessies se contracte. Ces effets se produisent par

un simple transport de la même quantité de force répulsive, la mobilité des particules, et leur attraction mutuelle, étant les mêmes dans les deux corps; en d'autres termes, la force répulsive agit dans la direction de moindre résistance jusqu'à ce que l'équilibre soit produit; la force alors devient statique ou balancée, au lieu de dynamique ou motrice.

Considérons maintenant le cas d'un solide qui se change en liquide, ou d'un liquide qui se change en gaz : ici, il est nécessaire d'une bien plus grande quantité de chaleur ou force répulsive, en raison de la cohésion des particules qu'il s'agit de séparer. Pour arriver à séparer les particules d'un solide, il faut que le corps liquide plus chaud lui cède précisément autant de chaleur qu'il en faut pour maintenir à l'état liquide une égale quantité de ce corps; c'est, en réalité, seulement avec une ligne de démarcation plus tranchée, le cas des deux vessies froide et chaude; une portion du pouvoir répulsif des particules chaudes est transmise aux parties froides et les sépare à leur tour; mais la force antagoniste de la cohésion ou aggrégation qu'il faut nécessairement surmonter, étant dans ce cas beaucoup plus intense, elle exige et consomme une quantité plus grande, une quantité exactement proportionnelle de la force répulsive pour être surmontée mécaniquement; voilà pourquoi l'effet produit est tout différent que s'il s'agissait d'un thermomètre dont le liquide peut se dilater sans avoir à subir préalablement un semblable changement d'état. Ainsi, dans l'exemple cité

plus haut d'un mélange d'eau froide avec l'eau chaude, l'eau chaude, l'eau froide et le mercure du thermomètre étant tous trois primitivement à l'état liquide, et restant dans cet état après le contact, la température résultante est exactement la moyenne arithmétique de celles des corps mêlés; l'eau chaude se contracte d'une certaine quantité; l'eau froide se dilate de la même quantité; et le thermomètre s'élève ou s'abaisse du même nombre de degrés, suivant qu'il a été d'abord plongé dans le liquide froid ou chaud, le mercure perdant ou gagnant le même équivalent de force répulsive. Dans le second exemple, c'est-à-dire dans le mélange de glace et d'eau chaude, la substance dont nous nous servons comme indicateur, c'est-à-dire le mercure, ne doit pas subir les mêmes changements physiques, que les corps dont nous examinions tout à l'heure les rapports de volume. La force, en regardant simplement la chaleur comme une force mécanique, qui est employée à mettre en liberté ou à détacher les particules de la glace solide, est enlevée à l'eau liquide, ou au mercure liquide du thermomètre; et, en proportion de ce que cette force rencontre une plus grande résistance à séparer les particules d'un solide que celles d'un liquide, les corps qui cèdent cette force subissent une contraction plus grande.

Si nous comparons les actions de la chaleur sur deux substances, l'eau et le mercure seulement, et que nous cessions de prendre la glace en considération, nous serons à même d'appliquer la même

manière de voir : ainsi, si une source donnée de chaleur est appliquée à de l'eau contenant un thermomètre à mercure, l'eau et le mercure se dilateront graduellement tous deux, mais à des degrés différents ; arrivée à un certain point, la force attractive des molécules de l'eau est tant surmontée que l'eau devient vapeur. A ce point, la chaleur ou la force, rencontrant une résistance beaucoup moins grande de la part de l'attraction des particules de vapeur que de la part des particules de mercure, se dépense sur les premières ; le mercure ne doit plus se dilater ou se dilate dans un degré infiniment petit ; la vapeur, au contraire, se dilate grandement. Aussitôt qu'on atteint le point où la pression environnante oppose à la dilatation ultérieure de la vapeur une résistance égale à celle qui s'oppose à la dilatation du mercure du thermomètre, celui-ci monte de nouveau, et tous deux, vapeur et mercure, vont se dilatant en raison inverse de leur force moléculaire attractive. Si l'on fait croître la pression environnante, en renfermant, par exemple, l'eau au commencement de l'expérience dans un vase moins dilatable qu'elle, comme dans une chambre métallique, alors le mercure du thermomètre continuera à monter ; et si nous continuons l'expérience, en nous arrangeant de manière que ce soit l'eau qui soit renfermée et non le mercure, jusqu'à ce que nous arrivions au degré de force répulsive capable de surmonter la puissance de cohésion du mercure, et que celui-ci, par conséquent, se réduise en vapeur,

nous obtiendrons l'effet inverse ; la force se dépensera sur le mercure qui se dilatera indéfiniment, comme l'eau le faisait dans le premier cas, et l'eau, elle, ne se dilatera pas du tout.

Une autre manière très-commune d'envisager le sujet peut embarrasser au premier abord ; mais, avec un peu d'attention, on verra qu'elle peut s'expliquer par les mêmes principes. L'eau à la surface de laquelle flotte de la glace, si on la mesure au thermomètre, présente la même température que la glace, c'est-à-dire que toutes deux, l'eau et la glace, contractent le mercure du thermomètre au point de lui faire marquer le point conventionnel zéro. On peut demander comment ce fait n'est pas en désaccord avec la doctrine dynamique ; car, suivant cette doctrine, le solide doit prendre au mercure du thermomètre une plus grande proportion de force répulsive que ne le fait le liquide ; conséquemment, la glace doit contracter le mercure plus que l'eau ?

Ma réponse est que dans la question ainsi posée, les quantités d'eau, de glace et de mercure ne sont pas prises en considération, et qu'on néglige par là un élément dynamique nécessaire : si l'on y fait entrer l'élément de quantité, l'objection n'a plus de force. Supposons, par exemple, que le thermomètre contienne 400 grammes de mercure et se tienne à 37°,5 ; si on le place en contact avec une quantité illimitée de glace à zéro, le mercure tombera à zéro. Si ce même thermomètre est plongé dans une quantité illimitée d'eau à zéro, le mercure tombe encore

à zéro ; pas absolument, peut-être, parce que quelque grande que soit la quantité d'eau ou de glace, sa température sera quelque peu élevée par le mercure plus chaud. Cette élévation de température au-dessus de zéro sera d'autant plus petite que la quantité d'eau ou de glace sera plus grande, relativement à la quantité de mercure ; et, comme nous ne connaissons pas d'état intermédiaire entre la glace et l'eau, le contact d'un thermomètre à une température au-dessus du point de congélation devrait, théoriquement parlant, liquéfier toute la glace, en supposant qu'on lui laisse le temps nécessaire : en effet, comme chaque portion de glace aura avec le temps sa température élevée par le contact du mercure plus chaud, et comme chaque élévation de température au-dessus du point de congélation liquéfie la glace, chaque particule sera liquéfiée. Pratiquement parlant, cependant, dans les deux cas, celui de la glace et celui de l'eau, si les quantités de l'une et de l'autre sont indéfiniment grandes, le thermomètre tombera à zéro.

Maintenant, plaçons le même thermomètre à 37°,5, successivement dans 31 grammes d'eau à zéro et dans 31 grammes de glace à zéro ; nous trouverons que, dans le premier cas, il s'abaissera seulement à 12°,20, tandis que dans le second il descendra à zéro ; appliquons à ce fait la doctrine de la force répulsive, et nous arriverons à une explication satisfaisante.

Dans le premier cas, les deux quantités de glace et d'eau étant indéfiniment grandes par rapport au

mercure, chacune le réduit à sa propre température, c'est-à-dire à zéro; la glace ne peut pas réduire le mercure au-dessous de zéro, car il recevrait de nouveau la force répulsive de l'eau nouvellement formée, et cette eau redeviendrait de la glace : dans le second cas, où les quantités sont limitées, le mercure doit perdre plus de puissance répulsive de la part de la glace que de la part de l'eau, et les remarques faites quand il s'agissait du premier exemple trouvent leur application.

La doctrine qui précède trouve une belle confirmation dans l'expérience de Thilorier, par laquelle l'acide carbonique est solidifié. On permet au gaz acide carbonique, maintenu dans un vase très-solide, sous une grande pression, de s'échapper par un petit orifice; la dilatation soudaine exige un si grand renfort de force, qu'en fournissant aux emprunts du gaz qui se dilate, certaines autres portions de gaz se contractent tant qu'elles finissent par se solidifier; nous avons ainsi une dilatation et une contraction réciproques se produisant ensemble ou sur une seule et même substance, dans un temps trop court pour que le tout puisse prendre une température uniforme ou, en d'autres termes, une quantité uniforme de dilatation.

On a fait observer, relativement à la chaleur ainsi considérée, qu'il serait aussi correct de dire que la chaleur est absorbée ou que le froid est produit par le mouvement, que de dire que la chaleur est produite par le mouvement. Cette difficulté s'évanouit

lorsqu'on s'est habitué à regarder la chaleur et le froid comme des effets de mouvement, c'est-à-dire comme des dilatations ou des contractions réciproques, l'un et l'autre se concevant nettement comme quelque chose de relatif, mais ne pouvant pas être conçus comme quelque chose d'absolu.

En abordant le sujet de la chaleur, j'ai demandé à mes lecteurs de ne pas prendre en considération les sensations que la chaleur produit sur notre corps. J'ai agi ainsi, parce que les sensations sont très-propres à induire et ont de fait induit plusieurs personnes en erreur relativement à la nature de la chaleur. Les sensations sont elles-mêmes occasionnées par des dilatations semblables à celles que nous venons de considérer; les liquides du corps sont dilatés, c'est-à-dire rendus moins visqueux par la chaleur, et, par suite de leur circulation plus facile, nous obtenons la sensation agréable de la chaleur. Par un degré de température plus élevée, leur dilatation, devenue trop grande, fait naître une sensation de douleur; si on pousse la température à l'extrême, au point de causer une brûlure, les liquides du corps sont dissipés en vapeur, et il en résulte une altération ou une destruction de la structure organique. Un effet semblable, quoique inverse, est produit par un froid intense; l'application du mercure congelé sur le corps d'un animal produit une brûlure semblable à celle produite par une grande chaleur et accompagnée d'une sensation semblable.

D'autres actions, sans doute, que celles que nous venons d'énumérer se réunissent pour produire la sensation de la chaleur ou du froid; mais on verra sans peine, je le pense, que ces actions n'infirment pas les arguments qui mettent en évidence la nature de la chaleur. Les effets essentiels du phénomène resteront les mêmes; la chaleur sera toujours une dilatation, le froid une contraction; la dilatation et la contraction seront toujours, comme dans le cas des deux vessies d'air, corrélatives, c'est-à-dire que nous ne pouvons pas dilater un corps A sans contracter quelque autre corps B, ou contracter A sans dilater B, en supposant, toutefois, que nous considérions les corps relativement à la chaleur uniquement, et que nous admettions qu'aucune autre force n'est mise en jeu.

J'ai dit qu'il n'y avait que peu d'exceptions à cette loi que la chaleur est toujours manifestée par une dilatation de matière. Une classe de ces exceptions est seulement apparente : l'argile humide, les fibres animales et végétales, et autres substances de nature mélangée, ou qui contiennent des matières de caractères différents, dont les unes sont moins et les autres plus volatiles ou expansibles, se contractent par l'application de la chaleur. Cela provient de ce que la matière plus volatile est dissipée sous forme de vapeur ou de gaz; les interstices, d'abord remplis par la matière plus volatile, devenant alors vides, la matière, moins volatile, se contracte par son attraction cohésive propre, donnant ainsi au premier

aspect l'apparence d'une contraction produite par la chaleur. Le pyromètre de Wedgewood s'explique par ce principe.

La seconde classe d'exceptions, quoique d'une étendue beaucoup plus limitée, est moins facile à expliquer. L'eau, le bismuth fondu et probablement quelques autres substances (quoique par rapport à elles le fait ne soit pas clairement établi) se dilatent lorsqu'elles arrivent très-près de leur point de congélation ou de solidification. L'explication la plus probable de ces exceptions est qu'au point du maximum de densité les molécules de ces corps prennent une condition polaire ou cristalline, c'est-à-dire que les particules, s'arrangeant alors dans une direction rectiligne, comme des chevaux de frise, il en résulte des interstices contenant une matière de densité moindre, de telle sorte que la pesanteur spécifique de la masse entière est diminuée.

Nous ne pouvons sonder jusque dans ses derniers atomes la constitution intime de la matière; mais, en outre du fait que les corps qui manifestent cette propriété sont des corps qui, solidifiés, présentent les caractères d'une cristallisation très-marquée, il existe des expériences qui montrent que l'eau, entre son point de maximum de densité et son point de solidification, polarise la lumière circulairement; ce qui prouverait, si ces expériences étaient exactes, une modification de structure de l'eau analogue à celle que possèdent certains cristaux solides, ou que possède l'eau elle-même lorsqu'on l'amène forcément à

prendre une condition polarisée par l'influence du magnétisme.

L'exactitude de ces résultats a cependant été révoquée en doute, et les expériences n'ont pas réussi quand elles ont été répétées par des mains expérimentées. En est-il ainsi ou non? Notre explication de l'exception à la loi, partout ailleurs invariable, de la dilatation par la chaleur peut-elle ou non être regardée comme admissible? c'est à chacun de ceux qui ont le droit d'émettre une opinion dans cette matière à prononcer. Dans tous les cas, aucune des théories de la chaleur proposées jusqu'ici ne résout la difficulté, et, par conséquent, on peut l'opposer également à toute autre manière de considérer les phénomènes de la chaleur, comme on l'a opposée à celle que nous avons développée, et qui regarde la chaleur comme une force expansive communicable.

Comme certains corps se dilatent en se congelant, et même, dans certaines circonstances, avant qu'ils n'aient atteint la température à laquelle ils se solidifient, nous avons à constater cette anomalie apparente, que le mouvement ou la force engendrée par la chaleur ou le changement de température agit dans une direction opposée lorsque l'on arrive au point du passage de l'état solide à l'état liquide. Ainsi, un morceau de glace à la température de —18° centigrades, se dilate par la chaleur, et donne naissance par sa dilatation à une force mécanique jusqu'à la température de zéro; mais alors, si l'on continue à chauffer, il se contracte; et si la première

dilatation a poussé un piston de bas en haut, la contraction subséquente fera revenir le piston sur ses pas jusqu'à un certain point, ou le fera mouvoir de haut en bas. Ainsi, avec de l'eau au-dessus de 4°, c'est-à-dire au-dessus du point de densité maximum, un accroissement progressif de froid, ou une diminution progressive de chaleur, produira d'abord une contraction, puis une dilatation ou une force mécanique dans une direction opposée.

De même, si de l'eau renfermée dans un espace limité est graduellement refroidie, la dilatation provenant de son refroidissement, lorsqu'elle approchera du point de congélation, aura pour effet de faire naître au sein de ses particules une certaine pression, et tendra par là à lutter contre la force de dilatation produite en elle par le refroidissement, ou à résister à la tendance à la congélation; inversement, avec les corps qui se contractent en se congelant, la pression viendra en aide à la force produite par le refroidissement, et toutes deux tendront à rapprocher les particules. Nous trouvons par là qu'il faut une température plus basse pour congeler l'eau lorsqu'elle est soumise à une certaine pression que lorsqu'elle est libre, ou que le point de congélation est d'autant plus bas que la pression est plus grande pour les corps qui se dilatent en se refroidissant; prévu d'abord par M. J. Thomson, ce fait a été vérifié expérimentalement par M. W. Thomson; au contraire, ainsi que M. Bunsen l'a montré, l'effet inverse a lieu pour les corps qui se

contractent en se congelant; ceux-ci deviennent solides à une température d'autant plus élevée que la pression est plus grande; de sorte qu'un corps de cette classe qui, sous la pression ordinaire de l'atmosphère, est liquide à une température juste au-dessus de son point de congélation, devra passer à l'état solide lorsqu'on le soumettra à la seule influence de la pression, la température restant constante.

A l'exception des phénomènes présentés par les corps qui se dilatent en se refroidissant, et qui sont une difficulté pour toutes les théories proposées jusqu'ici, les phénomènes généraux de la chaleur peuvent, je le crois, être expliqués à un point de vue purement dynamique, et d'une manière plus satisfaisante que si on recourait à l'hypothèse de la matière latente. Plusieurs cependant des phénomènes de la chaleur sont enveloppés de beaucoup de mystère, particulièrement ceux qui ont rapport à la chaleur spécifique, ou aux proportions de chaleur que des poids égaux des différents corps exigent pour passer d'une température donnée à une autre température donnée, proportions qui semblent dépendre, en quelque manière inexplicable jusqu'ici, de la constitution moléculaire des différents corps.

La théorie de la chaleur que j'ai adoptée, et qui consiste à la regarder simplement comme une force moléculaire répulsive communicable est confirmée par plusieurs des phénomènes auxquels on applique

le nom de chaleur spécifique ou relative, par ce fait, par exemple, que lorsque la température des corps augmente, leur chaleur spécifique augmente aussi. La raison suivant laquelle croît la chaleur spécifique est plus grande pour les corps solides que pour les liquides, quoique ces derniers soient plus dilatables; et cet effet dépend probablement d'un commencement de fusion. En outre, les métaux dont la raison de la dilatation augmente plus rapidement lorsqu'ils sont chauffés, augmentent davantage aussi en chaleur spécifique; et leur chaleur spécifique est diminuée par la percussion qui, en rapprochant leurs particules, les rend spécifiquement plus denses. Cependant lorsque nous examinons des substances de caractères physiques très-différents, nous trouvons que leurs chaleurs spécifiques n'ont aucun rapport avec leurs densités, ou avec leurs proportions de dilatation par la chaleur; leurs différences de chaleur spécifique doivent dépendre de leur constitution moléculaire intime, d'une manière qui n'est expliquée (autant que je puis en être certain) par aucune des théories de la chaleur proposées jusqu'ici.

Dans le plus grand nombre des solides et des liquides, et probablement dans tous, la dilatation par la chaleur est relativement plus grande lorsque la température est plus élevée; c'est-à-dire, en conservant l'idée de dilatation et de contraction, que si deux portions égales d'une même substance sont juxtaposées à des températures différentes, la portion la plus chaude se contractera un peu plus, que la portion la plus

froide ne se dilatera ; de ce fait, que le coefficient de dilatation augmente dans un corps donné avec la température, et d'autres considérations, le docteur Woods a conclu, avec grande raison en apparence, que plus les particules des corps sont voisines les unes des autres, moins elles ont besoin d'être déplacées pour produire une dilatation ou une contraction donnée dans les particules d'un autre corps. Cette manière de raisonner, si nous l'avons bien comprise, peut être formulée brièvement comme il suit :

Comme les corps se contractent par le froid, il est clair que, dans un corps donné, plus la température est basse, plus les particules sont rapprochées; et comme le coefficient de dilatation augmente avec la température, plus la température de la substance est basse, moins les particules demandent à se mouvoir, à se rapprocher ou à s'éloigner l'une de l'autre, de manière à faire compensation à l'éloignement ou au rapprochement des particules dans une portion plus chaude de la même substance, c'est-à-dire dans une autre portion de la même substance dont les particules sont plus distantes l'une de l'autre. La quantité de rappprochement ou d'éloignement des particules d'un corps, en d'autres termes son changement de volume par un changement donné de température, étant ainsi dans une substance donnée un indice de la proximité relative de ses particules; ne peut-il pas en être de même de tous les corps? Cette proposition est formulée d'une manière très-

ingénieuse par M. le docteur Woods ; mais son raisonnement repose sur certaines hypothèses relatives aux dimensions et aux distances des atomes, qui doivent être admises comme des *postulata* par ceux qui adoptent ses conclusions. Le docteur Woods cherche, par le moyen de sa théorie, à expliquer la chaleur produite par les combinaisons chimiques ; et j'essaierai de donner un aperçu de son mode de raisonnement, lorsque j'arriverai à cette partie du sujet que je traite.

Quoique les effets comparatifs de la chaleur spécifique ne puissent être expliqués d'une manière satisfaisante par aucune théorie connue, l'effet absolu de la chaleur sur chaque substance séparée n'en est pas moins un effet de dilatation ; mais lorsque des corps qui diffèrent par leurs caractères physiques sont mis en expérience, la proportion de dilatation varie si on la mesure par les contractions corrélatives manifestées par les substances qui produisent cette dilatation. Quoique je sois obligé, pour me rendre intelligible, de parler de la chaleur comme d'une entité, de sa conduction, de son rayonnement, etc. ; ces expressions n'en sont pas moins inconciliables avec la théorie dynamique qui considère la chaleur comme un mouvement et rien de plus : la conduction est simplement une dilatation progressive, ou un mouvement des particules de la substance conductrice ; le rayonnement est une ondulation, un mouvement des particules du milieu au travers duquel la chaleur est dite transmise, etc. ; et c'est un

fort argument en faveur de cette théorie, que pour chaque diversité dans les caractères physiques des corps, et pour chaque changement dans la structure ou l'arrangement des particules d'un même corps, on voit apparaître un changement dans les effets thermiques. Ainsi l'or conduit la chaleur, ou transmet le mouvement appelé chaleur, plus facilement que le cuivre, le cuivre plus que le fer, le fer plus que le plomb, et le plomb plus que la porcelaine.

De même, lorsque la structure d'une substance n'est pas homogène, nous avons dans la conductibilité un changement dépendant de la structure. Ce fait est mis en évidence d'une manière très-belle, par les corps dont la structure est disposée symétriquement, comme dans les cristaux. M. de Sénarmont a montré que les cristaux conduisent différemment la chaleur dans les différentes directions par rapport à l'axe de symétrie, mais la conduisent en proportion constante pour chaque direction déterminée. Son mode d'expérimentation est le suivant : Une plaque de cristal est coupée dans une direction déterminée, parallèlement à l'axe pour certaines expériences, perpendiculairement à l'axe pour d'autres; un tube de platine traverse normalement la plaque par son centre; il est recourbé à une extrémité, de manière qu'on puisse le chauffer à la lampe, sans que la chaleur qui rayonne de la lampe puisse affecter la plaque de cristal; les surfaces ou les bases de la plaque sont enduites de cire. Si le tube de platine est chauffé, la direction suivant laquelle la chaleur se propage dans

le cristal est manifestée par la fusion de la cire; et une ligne courbe établit la séparation entre la cire solide et la cire liquide. Cette courbe, pour les substances homogènes comme le verre et le zinc, est un cercle; elle est aussi un cercle sur les plaques de spath calcaire coupées perpendiculairement à l'axe de symétrie; mais sur des plaques coupées parallèlement à l'axe de symétrie, et dont le plan est perpendiculaire à l'une des faces du rhomboèdre primitif, les courbes sont des ellipses bien définies, ayant leur grand axe dans la direction de l'axe de symétrie, ce qui prouve que cet axe est une direction de plus grande conductibilité. D'expériences de ce genre on a tiré cette conclusion, que dans les milieux constitués comme les cristaux du système rhomboédrique, le pouvoir conducteur varie de telle sorte qu'en supposant qu'il existe au sein de ces milieux étendus indéfiniment dans toutes les directions une source constante de chaleur, les surfaces isothermiques seraient des ellipsoïdes concentriques de révolution autour de l'axe de symétrie; ou du moins des surfaces différant très-peu de l'ellipsoïde.

M. Knoblauch, de son côté, a montré que la chaleur rayonnante est absorbée à différents degrés, suivant que la direction du rayon est parallèle ou perpendiculaire à l'axe du cristal.

Si nous choisissons une substance d'une structure différente, mais elle-même définie, comme le bois, nous trouvons que la chaleur se propage au travers du bois plus ou moins rapidement suivant le sens de

sa direction par rapport aux fibres; ainsi, MM. de Candolle et de la Rive ont trouvé que la conductibilité est plus parfaite dans la direction parallèle aux fibres que dans une direction qui leur est perpendiculaire. M. le docteur Tyndall a montré, en outre, que la conductibilité est plus grande dans une direction à la fois perpendiculaire aux fibres et aux couches de bois, que dans une direction perpendiculaire aux fibres, mais parallèle aux couches; quoique dans ces deux directions la conductibilité soit moins grande que lorsque le rayon suit la direction des fibres. Ainsi dans les trois directions perpendiculaires principales que l'on peut concevoir dans la substance du bois, nous avons trois degrés différents de propagation de la chaleur.

Dans les exemples ci-dessus nous voyons, comme nous le constaterons plus loin relativement à tous les agents appelés impondérables, que les phénomènes dépendent de la structure moléculaire propre de la matière; et quoique ces faits ne soient pas en contradiction absolue avec le système qui fait de ces agents des fluides ou des entités, on avouera, je l'espère, qu'ils s'accordent beaucoup mieux avec la théorie qui en fait des modes de mouvement. La chaleur que nous avons considérée jusqu'ici, ne peut pas être isolée, nous ne pouvons enlever la chaleur à une substance et la conserver à l'état de chaleur; nous pouvons simplement la transmettre à une autre substance, soit sous forme de chaleur, soit sous forme d'un autre mode de force. Nous connais-

sons seulement certains changements de matière qui sont désignés sous le nom générique de chaleur; la *chose* chaleur est un inconnu.

Dès qu'il a été démontré que la chaleur est une force capable de produire le mouvement, et que le mouvement est capable de produire les autres modes de force, il en résulte nécessairement que la chaleur est capable de produire aussi tous les autres modes médiatement : je puis, en conséquence, me borner à rechercher jusqu'à quel point la chaleur est capable de produire immédiatement les autres modes de force. Elle produit immédiatement l'électricité, comme l'ont montré les belles expériences de Seebeck; j'en ai déjà cité une; elles prouvent que si des métaux dissemblables sont amenés au contact, ou soudés ensemble, et qu'on chauffe le point de contact ou de soudure, un courant d'électricité circule au travers des métaux, et dans une direction déterminée qui dépend de la nature des métaux employés; ces courants persistent aussi longtemps qu'un accroissement de température envahit graduellement les métaux, ils cessent si la température reste stationnaire, et circulent dans une direction opposée quand la température vient à décroître.

Une autre classe des phénomènes que l'on a généralement attribués aux effets de la chaleur rayonnante, et auxquels, dans cette croyance, on a appliqué la dénomination de thermographie, peuvent aussi à leur tour manifester des effets électriques,

mais des effets, cette fois, d'électricité franklinique ou statique, de même que les expériences de Seebeck engendrent des effets d'électricité voltaïque ou dynamique.

Si des disques polis de métaux dissemblables, zinc et cuivre, par exemple, après avoir été amenés en face et très-près l'un de l'autre, sont maintenus ainsi pendant quelque temps, et qu'un de ces disques présente sur sa surface des irrégularités, une silhouette ou tracé superficiel de ces irrégularités apparaîtra sur l'autre disque, et *vice versa*. On a formulé diverses théories pour arriver à expliquer ces phénomènes; mais, qu'ils soient dus ou non à des radiations thermiques, la température relative des deux disques, leur capacité spécifique, leur conductibilité et leur pouvoir rayonnant relatif ont une influence incontestable.

Maintenant, si ces deux disques presque en contact sont mis en communication avec les plateaux d'un électroscope délicat, et qu'on les sépare subitement, l'électroscope donnera des signes d'électricité, montrant que la radiation réciproque d'une surface à l'autre fait naître une force électrique. Je cite cette expérience en traitant de la chaleur comme force primitive, parce que les probabilités actuelles sont que ces phénomènes sont produits par la radiation thermique. L'origine de ces effets ainsi appelés thermographiques, est cependant une question encore ouverte au doute et qui a besoin d'être éclaircie par de nouvelles expériences. Lorsque je publiai

le premier l'expérience qui prouvait que le simple rapprochement de disques métalliques donne naissance à des effets électriques, j'exprimai que je considérais le fait de changements superficiels nés à la surface des métaux à proximité l'un de l'autre, et à plus forte raison au contact, comme pouvant expliquer le développement de l'électricité dans l'expérience de contact faite d'abord par Volta, sans qu'on fût forcé de recourir à la théorie du contact, c'est-à-dire à une théorie qui admet qu'une force puisse être produite par le simple contact de métaux dissemblables sans changement aucun, moléculaire ou chimique. Je n'ai rien vu encore qui s'oppose à cette manière de voir. M. Gassiot a répété et vérifié mes expériences avec des appareils plus délicats et avec plus de précautions encore; et, sans prétendre que la chaleur rayonnante est dans ce cas la force initiale, nous restons convaincus, par le changement superficiel qui se manifeste dans des corps très-rapprochés, que certains changements moléculaires sont survenus; que leur rapprochement a mis en action une certaine force, laquelle en se dépensant, ou mieux en se transmettant, produit les changements survenus dans la matière; ce n'est donc pas une force sans changement moléculaire, comme la théorie du contact voudrait le supposer. Cette force dans ce cas comme dans tous les autres n'est pas créée, mais développée par l'action de la matière sur la matière; elle n'est pas non plus anéantie, puisqu'il est prouvé par cette expérience

qu'en se dépensant, elle se convertit en un autre mode de force.

Dire que la chaleur produit de la lumière, c'est affirmer un fait familier en apparence à tout le monde; il y a pourtant quelque raison de douter que cette expression *produire de la lumière* soit correcte dans cette application particulière; la relation entre la chaleur et la lumière n'est pas analogue à la corrélation entre ces deux agents et les autres affections de la matière. La chaleur et la lumière semblent plutôt être des modifications d'une même force, que des forces distinctes dépendant mutuellement l'une de l'autre. Les modes d'action de la chaleur rayonnante et de la lumière sont si semblables, elles sont si bien assujetties aux mêmes lois de la réflexion, de la réfraction, de la double réfraction, de la polarisation, que leur différence paraît être plutôt dans la manière dont elles affectent nos sens, que dans la conception mentale que nous pouvons nous en former.

Les expériences de Melloni, qui a principalement contribué à démontrer cette analogie intime de la chaleur et de la lumière, présentent un bel exemple du secours que les progrès de l'une des branches de la physique peuvent prêter à ceux des autres branches. Les découvertes d'Oersted et de Seebeck ont conduit à la construction d'un instrument pour la mesure des températures, incomparablement plus délicat que tous les instruments antérieurement connus. Pour le distinguer du thermomètre ordinaire, on l'a

appelé *thermomultiplicateur.* Il consiste dans une série de petits barreaux de bismuth et d'antimoine, formant une chaîne en zigzag de couples successifs parallèles les uns aux autres, et dont l'ensemble a la forme d'un cylindre ou d'un prisme, les points de jonction ou de soudure de tous les couples étant tous visibles sur les bases du cylindre ou du prisme; les deux extrémités de cette série sont unies à un galvanomètre, c'est-à-dire à une bobine aplatie de fils entourant une aiguille magnétique librement suspendue, et dont la direction est parallèle aux circonvolutions du fil de la bobine. Si la chaleur rayonnante tombe sur les extrémités soudées du multiplicateur, un courant thermo-électrique est induit ou engendré dans chaque couple; et comme tous les courants individuels tendent à circuler dans la même direction, l'énergie de l'ensemble est augmentée par le concours de toutes les forces partielles; ce courant, traversant l'hélice du galvanomètre, fait dévier l'aiguille de sa position parallèle en vertu de la force électro-magnétique tangentielle, et le degré de la déviation sert de mesure à la température.

Les corps examinés par ce moyen manifestent une différence très-remarquable entre leur transcalescence, ou diathermanie, c'est-à-dire leur pouvoir de transmission de la chaleur, et leur transparence optique; ainsi, quoique très-transparent, l'alun arrête plus de chaleur que le quartz coloré au point d'être devenu opaque; Melloni a trouvé que l'alun accouplé avec le verre coloré en vert était capable

de transmettre un rayon de lumière brillante, tandis qu'avec le thermoscope le plus délicat il n'a pu recueillir aucune indication de chaleur transmise; d'un autre côté, le sel de roche, le plus transcalescent ou diathermane de tous les corps connus, peut être enduit de noir de fumée, au point de devenir parfaitement opaque, sans perdre la faculté de transmettre une quantité considérable de chaleur. La chaleur rayonnante, lorsqu'elle est transmise à travers un prisme de sel de roche, s'est montrée inégalement réfractée ou dispersée, comme cela a lieu pour la lumière, et le rayon de chaleur ainsi épanoui, de manière à former ce que, par analogie, on a appelé spectre thermique, est apparu doué de propriétés semblables à celles des rayons primitifs ou colorés du spectre lumineux. Ainsi le sel de roche est à la chaleur ce que le verre incolore est à la lumière, il transmet la chaleur à tous les degrés de réfrangibilité; l'alun est à la chaleur ce que le verre rouge est à la lumière, il transmet les rayons moins réfrangibles et arrête les rayons plus réfrangibles; le sel de roche recouvert de noir de fumée représente un verre bleu, il transmet les rayons plus réfrangibles et arrête les rayons moins réfrangibles.

Certains corps, en outre, réfléchissent la chaleur de différentes réfrangibilités; ainsi le papier, la neige, la chaux, quoique parfaitement blancs, c'est-à-dire réfléchissant la lumière de tous les degrés de réfrangibilité, ne réfléchissent la chaleur qu'à certains degrés de réfrangibilité; taudis que les métaux, qui

sont des corps colorés, c'est-à-dire qui réfléchissent seulement la lumière à certains degrés de réfrangibilité, réfléchissent la chaleur de toute réfrangibilité. La chaleur rayonnante qui tombe sur des substances qui réfractent doublement la lumière est doublement réfractée, et les rayons émergents sont polarisés dans des plans à angle droit l'un par rapport à l'autre, comme dans le cas de la lumière. Les phénomènes de la lumière sont donc intimement imités par les phénomènes de la chaleur rayonnante, et la même théorie que l'on considère comme expliquant de la manière la plus plausible les phénomènes de l'un de ces agents s'appliquera nécessairement à l'autre.

Dans certains cas, la chaleur semble être partiellement convertie en lumière, quand on change la matière affectée par la chaleur; ainsi, un gaz peut être chauffé à une température très-élevée sans produire de lumière ou en ne la produisant qu'à un degré très-faible; mais l'introduction d'une matière solide, du platine, par exemple, au sein du gaz fortement chauffé, donne instantanément de la lumière.

La chaleur est-elle réellement convertie en lumière, ou est-elle seulement concentrée et accrue d'intensité par la matière solide de manière à devenir visible? Cette question laisse place au doute. Le fait qu'une matière solide décompose l'eau lorsqu'elle est amenée à l'état d'ignition par le jet de gaz oxyhydrogène, mélange d'oxygène et d'hydrogène, comme nous allons le constater tout à l'heure, semble in-

diquer que la chaleur est rendue plus intense par sa condensation dans la matière solide ; l'eau, dans ce cas, est décomposée par un corps échauffé, lequel corps a été échauffé par la combinaison même des éléments constituants de l'eau. Cependant, l'effet apparent de l'introduction d'un solide incombustible dans le gaz échauffé est une conversion de la chaleur en lumière.

Il est une autre méthode par laquelle la chaleur pourrait être amenée probablement à produire des effets lumineux ; mais je ne suis pas certain que l'expérience ait jamais été faite.

Si nous concentrons au foyer d'une large lentille une lumière obscure ou faible, nous augmentons son intensité. Maintenant, si l'on prend un corps chauffé qui, à l'œil nu, a juste cessé d'être visible, il semble probable qu'en réunissant et condensant par une lentille les différents rayons qui ont cessé d'être visibles, la lumière reparaîtra au foyer. L'expérience, pour des raisons faciles à deviner par tous ceux qui sont familiarisés avec l'optique, est une expérience difficile, et pour être concluante, elle aurait besoin d'être faite sur grande échelle avec une lentille parfaite, de large diamètre et de court foyer. J'ai obtenu un résultat approché de la manière suivante : dans une chambre obscure, un fil de platine était amené juste au point d'ignition visible par une pile de Volta constante ; je la regardais alors d'une courte distance avec une lorgnette d'opéra de large ouverture, appliquée à un œil, pen-

dant que l'autre œil restait ouvert. Le fil était distinctement visible pour l'œil armé de la lorgnette, tandis qu'en même temps il était complétement invisible à l'œil nu. On pourrait dire, avec quelque raison, que de semblables expériences ne prouvent guère rien de plus que le fait déjà connu, qu'en augmentant l'intensité de la chaleur, il se produit de la lumière; il me semble néanmoins qu'elles montrent cet effet sous une forme plus frappante ou plus apte à mettre en évidence les rapports de la chaleur et de la lumière.

Pour ce qui concerne l'*affinité chimique* et le *magnétisme,* peut-être que la seule méthode par laquelle, à strictement parler, la force de la chaleur puisse être dite les engendrer, est par l'intermédiaire de l'électricité, puisque le courant thermo-électrique produit, comme nous l'avons déjà décrit, en chauffant des métaux dissemblables, est capable de faire dévier un aimant, de magnétiser le fer, de produire les autres effets magnétiques, et aussi de déterminer la combinaison ou la décomposition des composés chimiques, et cela en proportion de l'intensité ou progression croissante de la chaleur : jusqu'ici, cependant, on n'a pas réussi à établir un rapport numérique entre la quantité de chaleur dépensée et l'intensité des autres forces que cette chaleur a fait naître, sans doute parce qu'une très-petite proportion de chaleur est utilisée ou convertie en électricité, la plus grande partie étant dissipée ou perdue, sans changement, sous forme de chaleur.

La chaleur cependant affecte et modifie directement soit les corps aimantés, soit les composés chimiques ; l'union de certaines substances chimiques est déterminée par la chaleur, comme, par exemple, dans la formation de l'eau par l'union des gaz oxygène et hydrogène ; dans d'autres cas, cette union est facilitée par la chaleur ; quelquefois, au contraire, comme pour l'ammoniaque et ses sels, l'union est rendue plus difficile ou empêchée. Dans plusieurs des cas que nous venons d'énumérer, la force cependant de la chaleur semble être plutôt une influence déterminante qu'une influence efficiente ; mais, même pour exercer ce genre d'influence, elle doit avoir un rapport immédiat avec la force dont elle détermine la réaction ; ainsi, quoique la poudre à canon touchée par un fil en ignition exerce consécutivement sa propre combustion ou sa combinaison chimique, indépendamment de la source primitive de chaleur, cependant les affinités chimiques de la première portion touchée ont dû être exaltées par la chaleur du fil et à ses dépens ; car, pour troubler même un équilibre instable, il faut une force en relation directe avec celles qui maintiennent l'équilibre.

Depuis que la première édition de cet essai a été publiée, j'ai communiqué à la Société royale de Londres des expériences qui font disparaître une exception importante de l'effet général de la chaleur sur l'affinité chimique, et dont les résultats font espérer qu'on arrivera enfin à établir une relation générale entre la chaleur, l'affinité chimique et l'at-

traction physique. J'ai trouvé que si une substance capable de supporter une chaleur intense, mais incapable d'être attaquée par l'eau ou par ses éléments, le platine, par exemple, ou l'iridium, est amenée à un point d'ignition très-élevé, et plongée dans l'eau, on voit monter au sein de l'eau des bulles de gaz permanents, lesquelles, après examen, ont été trouvées constituer un mélange d'oxygène et d'hydrogène, dans les proportions suivant lesquelles ils donnent naissance à l'eau. La température à laquelle cet effet est produit, suivant le docteur Robinson, qui a depuis écrit un mémoire estimé sur ce sujet, est d'environ 1 307 degrés. Mais, si un mélange d'oxygène et d'hydrogène est exposé à une température de 430 degrés, les gaz se combinent et il se forme de l'eau; la chaleur semble donc agir différemment sur ces éléments suivant son intensité, produisant dans un cas la combinaison, dans l'autre la décomposition. On n'a encore trouvé aucun moyen de concilier ces anomalies apparentes; tout ce que je puis supposer pour approcher autant que possible d'une théorie, c'est que les molécules constituantes de l'eau sont au-dessous d'une certaine température, dans un état d'équilibre stable; que les molécules d'un mélange d'oxygène et d'hydrogène sont aussi au delà d'une certaine température, dans un état d'équilibre stable, mais dans un état d'équilibre de caractère opposé; en ce sens qu'au-dessous de cette dernière température les molécules du gaz mélangé sont dans un état d'équilibre instable

quelque peu semblable à celui des fulminates ou corps analogues, dans lesquels le plus petit dérangement bouleverse les forces délicatement équilibrées.

Si, par exemple, nous supposons que quatre molécules, A, B, C, D, sont en balance ou dans un état d'équilibre, entre des forces attractives et répulsives, l'application d'une force répulsive entre B et C, quoiqu'elle puisse séparer B et C, pourra rapprocher B de A, et C de D, et amener ces molécules respectivement dans la sphère d'action des forces attractives; ou bien, en supposant que la force répulsive s'exerce au centre d'une sphère indéfinie de particules, toutes ces particules, excepté celle sur laquelle la force agira immédiatement, peuvent s'être rapprochées; et, arrivées, sous l'influence de l'attraction, à un état d'équilibre stable, elles peuvent s'y maintenir, parce que la force répulsive, divisée par la masse ou répartie sur toute la masse, n'est pas capable de le troubler.

Mais si la force répulsive augmente en quantité et prend une intensité suffisante, alors la force attractive de toutes les molécules peut être vaincue, et la décomposition peut avoir lieu. Ainsi, l'eau et la vapeur, au-dessous d'une certaine température, et le mélange des gaz au-dessus d'une certaine température, peuvent être supposés dans un état d'équilibre stable, pendant qu'au-dessous de cette température limite, l'équilibre du mélange d'oxygène et d'hydrogène est instable.

Ce n'est là, je dois l'avouer, qu'une manière grossière d'expliquer les phénomènes, et cette explication exige qu'on admette que les particules d'un gaz exercent une attraction l'une sur l'autre comme le font les particules d'un solide, quoique dans un degré différent, et peut-être une attraction de nature différente. Qu'il en soit ainsi ou non, on ne peut pas douter que, tous deux, gaz et solides, se dilatent ou se contractent proportionnellement à la contraction ou à la dilatation inverse des autres corps voisins, qu'ils se ressemblent ainsi les uns aux autres dans leurs rapports avec la chaleur ou le froid.

Le degré d'étendue que peuvent atteindre cette dilatation et cette contraction semble être limité uniquement par les états corrélatifs des autres corps; ceux-ci à leur tour par d'autres corps, et ainsi de suite, autant que nous pouvons en juger à travers l'univers entier.

Adoptant l'explication que nous venons de donner de la décomposition de l'eau par la chaleur, la chaleur aura avec l'affinité chimique les mêmes rapports qu'elle a avec l'attraction physique; sa tendance immédiate est de faire antagonisme à toutes deux; et c'est seulement par une action secondaire que l'affinité chimique est en apparence aidée par la chaleur. Cette manière de voir expliquera comment la chaleur peut déterminer les changements d'équilibre des affinités chimiques au sein des substances composées mixtes, en détruisant certaines combinaisons, en séparant les composants élémen-

taires dont l'affinité est plus grande, lorsqu'ils sont amenés dans leur sphère d'attraction, pour les substances avec lesquelles ils sont mélangés, que pour les corps auxquels ils étaient d'abord chimiquement unis; ainsi, une chaleur intense, appliquée à un mélange de chlore et de vapeur d'eau, détermine la production de l'acide chlorhydrique, et met l'oxygène en liberté.

En suivant cette manière de voir, on est amené à penser qu'une chaleur suffisamment intense pourrait être douée d'une puissance de décomposition indéfinie; et il devient quelque peu probable que les corps que nous considérons maintenant comme simples pourront être décomposés ou résolus en d'autres éléments par l'application d'une chaleur assez intense : en raisonnant en sens inverse, on peut prévoir avec fondement que des corps qui maintenant ne se combinent pas aux températures que nous pouvons faire naître, pourront entrer en combinaison si on les amène à des températures plus basses; que l'on obtiendra ainsi de nouveaux composés en plaçant les éléments qui doivent les constituer dans des conditions propices, en les exposant à des températures extrêmement basses, et, mieux encore, en recourant en même temps à des compressions énergiques.

Dès qu'on compare la chaleur dans ses effets à une force mécanique, on doit s'attendre, *à priori*, et indépendamment de la théorie que l'on adoptera, à ce qu'une quantité donnée de chaleur, agissant

sur une matière donnée, produise une quantité donnée de puissance motrice ; et la question qui alors se présente immédiatement à l'esprit est celle-ci : Une même quantité de chaleur produira-t-elle la même quantité de force mécanique, quelle que soit la matière affectée par la chaleur, ou sur laquelle la chaleur agit ? Je vais essayer de résoudre cette question en prenant pour base de mon raisonnement l'idée que je me suis faite de la chaleur. La chaleur, dans cet essai, a été considérée comme étant elle-même un mouvement ou une puissance mécanique, et chaque quantité de chaleur est mesurée par une quantité de mouvement. Ainsi, quand par la contraction d'une substance donnée, le mercure chaud, par exemple, l'air contenu dans un cylindre muni d'un piston mobile se dilate, le piston se met en mouvement ; et, dans ce cas, on néglige ordinairement de tenir compte de la dilatation ou du mouvement moléculaire de la matière du cylindre et du piston, le fer, par exemple, ainsi que de l'air environnant. Quand l'air se dilate, il devient plus froid ; en d'autres termes, en subissant lui-même la dilatation, il perd son pouvoir de faire dilater les corps environnants ; mais si le piston est retenu forcément au bas du cylindre, le pouvoir expansif dû au mercure continuant de se communiquer au fer et à l'air environnants, ceux-ci, par là même, deviennent plus chauds qu'ils ne l'auraient été si le piston avait été soulevé.

Cela posé, dans le cas que nous examinons, si

l'air est emprisonné de telle sorte que son volume reste invariable, la dilatation du fer, en supposant qu'on puisse l'utiliser, produira-t-elle un effet mécanique exactement équivalent à celui que la dilatation de l'air aurait produit si la chaleur avait été entièrement absorbée par lui?

Dès qu'on admet que (à l'exception des corps qui se dilatent en se congelant, et pour lesquels, entre certaines limites de température, l'effet contraire a lieu) toutes les fois qu'un corps est comprimé, ce corps est en même temps échauffé, c'est-à-dire qu'il dilate les substances voisines; que toutes les fois qu'un corps se dilate ou augmente de volume, il est refroidi, c'est-à-dire qu'il contracte les substances voisines; on doit, ce me semble, en conclure que la puissance mécanique engendrée par la chaleur est définie, ou qu'elle est la même pour une quantité donnée de chaleur, quelle que soit la substance sur laquelle cette chaleur agit.

Ainsi, supposons que A soit une source définie de chaleur, un kilogramme, par exemple, de mercure à la température de 200°; supposons que B soit une autre source de chaleur semblable et égale; concevons que A soit employé à soulever un piston par la dilatation de l'air, et B employé à soulever un autre piston identique par la dilatation de la vapeur d'eau. Imaginons que les deux pistons soient attachés aux deux extrémités d'un levier de telle sorte que leurs actions soient opposées l'une à l'autre, et qu'ils représentent une sorte de balance calorique,

si A appliqué à l'air l'emporte sur B appliqué à l'eau, il déprimera ou fera descendre le piston de B, et, en comprimant la vapeur d'eau, déterminera un accroissement de température; cette chaleur à son tour élèvera la température de la source de chaleur, de telle sorte que nous nous trouverons en présence de cette anomalie qu'un kilogramme de mercure à 200° pourra porter la température d'un autre kilogramme de mercure de 200 à 201°, ou l'élever un peu au-dessus de sa température primitive, et cela sans aucun aide étranger; il est évident que cela est impossible, ou du moins en contradiction avec tout l'ensemble de nos expériences.

On peut donner à ce raisonnement une autre forme et dire : On ne peut pas, en changeant son mode d'application mécanique, ou la matière par l'intermédiaire de laquelle on la fait agir, faire produire par une source donnée plus de chaleur qu'elle n'en possède originairement; or, en admettant que la chaleur est convertie tout entière en puissance mécanique, s'il pouvait y avoir dans un cas surplus de puissance, ce surplus de puissance pouvant être converti à son tour en surplus de chaleur, il y aurait création de force. Par une raison analogue, il n'y aura pas non plus de déficit de puissance, parce que ce déficit équivaudrait à un anéantissement de force.

Dans la pratique, toutefois, on ne peut pas réaliser ce que nous venons de dire; on ne saurait, par exemple, construire une machine qui fonctionnât

par la dilatation et la contraction d'une barre de fer, et qui produisît une puissance égale à celle d'une machine à vapeur alimentée avec la même quantité de chaleur.

Carnot, qui a écrit en 1824 un essai sur la puissance motrice du feu, regardait l'effet mécanique obtenu au moyen de la chaleur comme résultant du transport de la chaleur d'un point à un autre, sans aucune perte finale de calorique. Ainsi dans l'action d'une machine à vapeur ordinaire, la chaleur du foyer, ayant dilaté l'eau du générateur, et soulevé le piston, il en est résulté un mouvement mécanique, mais ce mouvement ne peut pas être continué sans que la chaleur dégagée et qui a produit son effet soit enlevée; cet enlèvement s'opère par le condenseur, et le piston descend. Mais alors, de fait, nous avons transporté la chaleur du foyer dans le condenseur, et produit par ce transport un effet mécanique. Le *mouvement* mécanique produit par la chaleur doit-il être considéré comme l'effet du simple transport de la chaleur, ou comme le résultat de la conversion de la chaleur en force? Cette question conduit à cette autre : L'action exercée sous forme de puissance mécanique fait-elle retour à la machine thermale sous forme de chaleur?

Lorsqu'une quantité limitée d'air est chauffée, elle se dilate; et, par sa dilatation même, elle se refroidit ou perd quelque chose du pouvoir de communiquer la chaleur aux corps voisins. Ce que nous aurions appelé chaleur, si la dilatation de l'air

avait été empêchée, nous l'appelons effet mécanique, ou nous le considérons comme converti en effet mécanique en cessant d'être chaleur; mais, en laissant de côté la question des sensations nerveuses, cette dilatation ou cet effet mécanique est toute la manifestation que nous ayons de la chaleur; car si on laisse l'air se dilater librement, cette dilatation devient l'indice et la mesure de la chaleur; si l'air est emprisonné, la dilatation de la matière du vase qui le contient, ou celle du mercure d'un thermomètre en contact avec elle seront l'indice ou la mesure de la chaleur.

De plus, si l'air qui a été dilaté est ramené à son volume primitif par la compression ou par un autre moyen, il redevient capable de chauffer ou de dilater les autres substances à un degré qu'il ne leur aurait pas fait atteindre s'il était resté dans son état de dilatation. Pour produire un mouvement continu, ou faire mouvoir un piston en haut et en bas, nous devons chauffer tour à tour et refroidir, précisément comme avec une machine magnétique nous devons tour à tour aimanter et désaimanter pour arriver à produire un effet mécanique continu; et, quoique, par l'impossibilité où nous sommes d'isoler la chaleur, il y ait quelque chaleur perdue en apparence dans la manœuvre, on peut dire que le résultat est produit par un transport de chaleur du corps chaud au corps froid, du foyer au condenseur. Mais nous pouvons également dire que la chaleur a été convertie en mouvement, et que le mouvement en

retour a été converti en chaleur; ces effets sont corrélatifs, comme le sont les effets mécaniques d'une pompe à air, avec lesquelles, lorsque nous dilatons l'air d'un côté, nous le condensons de l'autre; et comme nous ne pouvons dilater sans condensation réciproque, de même nous ne pouvons pas chauffer sans refroidissement réciproque, ou *vice versa*.

Dans les considérations qui précèdent, nous avons négligé la résistance du piston, ou supposé que le poids soulevé par le piston est redescendu avec lui. La chaleur avait deux effets à produire : dilater l'air ou la vapeur du cylindre, et soulever le piston et le poids. L'un et l'autre sont un travail mécanique, et pour produire le second en même temps que le premier, il a fallu un excédant de chaleur équivalent au travail mécanique du soulèvement du piston avec le poids qu'il porte. Voyons maintenant ce qui arrivera si le poids soulevé ne descend pas avec le piston.

Supposons donc qu'un poids repose sur un piston qui emprisonne l'air à un certaine température, 50° par exemple, dans un vase ou corps de pompe qui ne conduise pas la chaleur; une partie de la chaleur de l'air sera due à la pression exercée, puisque la compression produit de la chaleur dans l'air, tandis que la dilatation produit du froid. Si maintenant cet air est échauffé et porté à 70°, le piston avec le poids attaché montera, et la température, par suite de la dilatation de l'air, s'abaissera quelque peu, à 69° par exemple (nous admettrons

pour simplifier que la chaleur née du frottement du piston fait compensation à la puissance perdue par le frottement). Si maintenant un corps froid vient à enlever 20° à la température de l'air confiné, le piston descendra, et, par la compression qu'il exerce, restaurera le degré perdu dans la dilatation ; puis, lorsque le piston sera revenu à sa première position, l'air aura repris sa température première de 50°. Répétons cette expérience et obtenons encore que le piston soit soulevé ; mais lorsque ce piston est à son maximum d'élévation et que l'on vient à appliquer le corps froid, concevons que le poids qu'il porte se détache, et tombe pour faire tourner une roue ou produire un autre effet mécanique, le piston descendant n'atteindra pas son point primitif de départ sans que l'air ait perdu plus de sa chaleur ; par suite de l'enlèvement du poids, il ne reste plus assez de force pour restaurer le degré perdu dans la dilatation ; sa température ne sera donc que de 49°, ou différera de 50° par une petite fraction. S'il en était autrement, comme le poids en tombant peut être amené à produire de la chaleur de frottement, nous aurions plus de chaleur qu'il n'y en avait primitivement, c'est-à-dire que nous aurions de la chaleur créée de rien, ou, en d'autres termes, le mouvement perpétuel.

Dans la théorie de la machine à vapeur, le sujet que nous traitons prend un grand intérêt pratique. Watt avait supposé qu'un poids donné d'eau exigeait la même quantité de chaleur totale

(en appelant chaleur totale la somme des chaleurs latente et sensible) pour se maintenir à l'état de vapeur, quelle que fût la pression à laquelle elle était soumise, et, par conséquent, quelles que fussent les variations de sa force expansive. On a admis longtemps que cette loi de Watt avait été démontrée expérimentalement par Clément Désormes. S'il en eût été ainsi, la vapeur, soulevant un piston avec le poids qu'il porte produirait un effet mécanique ; et comme cependant il y aurait dans la vapeur dilatée autant de chaleur que dans la vapeur comprimée, le travail aurait été réalisé sans dépense de la force initiale ; de plus, en admettant qu'il n'y a pas eu de perte accidentelle, que la chaleur de l'eau dans le condenseur est la représentation exacte de la chaleur primitive, nous arriverions au mouvement perpétuel. Southern admettait que la chaleur latente était constante, et que la température de la vapeur sous la pression croissait proportionnellement à la chaleur sensible. M. Despretz, en 1832, fit quelques expériences qui le conduisirent à cette conclusion que l'accroissement de chaleur totale de la vapeur comprimée n'était pas proportionnelle à la chaleur sensible, mais que cependant elle croissait avec cette chaleur sensible ; ce résultat a été vérifié et confirmé avec un grand soin par M. Regnault, dans des recherches récentes et admirablement conduites. Ce qui semble avoir occasionné l'erreur de Watt et des expériences de Clément Désormes, c'est l'idée impliquée dans l'expression de chaleur latente, suivant

laquelle, en supposant que le phénomène de la disparition de la chaleur sensible est dû à l'absorption d'une substance matérielle, cette substance, le calorique, était crue restaurée lorsque la vapeur venait à être condensée par l'eau, même quoique l'eau ne fût pas soumise à la pression ; or, pour estimer la chaleur totale de la vapeur sous la pression, cette vapeur aurait dû être condensée pendant qu'elle était soumise à la pression sous laquelle elle est engendrée, comme cela a eu lieu dans les expériences de MM. Despretz et Regnault.

La théorie de Carnot, suivant laquelle le travail mécanique est produit par le transport de la chaleur, sans qu'il y ait de dépense ou de perte définitive dans la production de ce travail, était fondée en partie sur des considérations semblables : il est vrai que le *mouvement* mécanique peut être produit par le passage de la chaleur d'une température plus élevée à une température plus basse, sans perte définitive, ou avec une perte infiniment petite; mais ce mouvement ne serait pas un travail mécanique effectif.

Si l'on admet qu'un nombre de degrés de chaleur à une basse température représente la même quantité de force mécanique que le même nombre de degrés à une température plus élevée; que, par exemple, un corps se refroidissant de 120 à 100°, ne produit pas plus de force qu'un corps se refroidissant de 20° à zéro; on ne regagnera pas dans le condenseur, lorsqu'il y aura eu production au dehors de

travail dérivé ou effectif, le nombre de degrés perdus dans le foyer. Cette égalité de puissance d'un même nombre de degrés sur toute l'échelle thermométrique n'est probablement pas exacte, car les résultats obtenus avec de la vapeur à haute pression et d'autres faits conduisent à une conclusion contraire. Mais si les 20° de l'échelle des basses températures ne représentent pas une force équivalente à celle qui correspond aux 20° de l'échelle des hautes températures, nous pourrons retrouver dans le condenseur le nombre total de degrés perdus dans le foyer, et obtenir cependant quelque travail dérivé ou effectif; ce travail n'en serait pas moins, pour la machine thermale, une dépense de force calorifique, quoique, en estimant la perte ou le gain par des degrés de l'échelle thermométrique, on puisse dire qu'il n'y ait pas eu de perte de chaleur. On fait souvent confusion entre le travail qui retourne à la machine, et le travail dérivé ou effectif qui ne doit pas retourner à la machine, ou que l'on a utilisé en dehors de la machine. Cette confusion embarrasse beaucoup les lecteurs des traités sur les machines à vapeur ou des sujets analogues, et a causé quelque obscurité de pensée et d'expression.

M. Seguin, en 1839, a combattu la thèse de Carnot, qui veut que l'on puisse obtenir un travail effectif par le simple transport de la chaleur. A l'aide de calculs appuyés de données certaines, comme la loi de Mariotte, suivant laquelle la force élastique des gaz et des vapeurs croît proportionnellement à

la pression, et en admettant que, pour la vapeur entre 100 et 150°, chaque élévation de température d'un degré est produite par une unité thermale, il parvint à déterminer l'équivalent de travail mécanique correspondant à un abaissement donné de température; sa conclusion fut, qu'à la pression ordinaire, la perte d'un degré de chaleur subie par 1 gramme d'eau produit une force capable d'élever à 1 mètre de hauteur un poids de 500 grammes; cet équivalent mécanique de la chaleur est un peu plus grand que celui que M. Joule a déduit d'expériences plus récentes, et que nous avons déjà rappelé, lorsque nous considérions le cas inverse de la production de la chaleur par le mouvement ou la force mécanique. M. Seguin, cependant, après les savantes et consciencieuses recherches de M. Regnault, a dû sentir la nécessité de modifier la valeur de son équivalent, parce qu'il semble résulter de ces expériences qu'entre certaines limites, il ne faut que trois dixièmes d'unité de chaleur pour élever d'un degré la température de la vapeur comprimée; augmenté dans le rapport de 10 à 3, l'équivalent mécanique de la chaleur deviendrait 1 666 grammes au lieu de 500.

Quoique nous ne puissions pas, dans l'état actuel de la science, comparer avec exactitude les effets mécaniques produits par une quantité donnée de force calorifique que l'on fait agir successivement par l'intermédiaire de plusieurs substances différant beaucoup par leurs caractères physiques, j'ai essayé

de prouver (en mettant en évidence les contradictions auxquelles conduirait la conclusion opposée) que, quelle que soit la quantité de travail mécanique produite par un mode d'application de la chaleur, ce même travail, théoriquement, doit être obtenu dans tout autre mode d'application. Mais dans le fait, la différence est immense, et, par conséquent, c'est une question de grand intérêt pratique que de rechercher quel est le milieu le plus convenable auquel il faille appliquer la chaleur employée, et quel est le meilleur mécanisme pour aménager cette chaleur. Sans discuter les diverses inventions et les théories relatives à cette matière qui vont prenant chaque jour des développements nouveaux, il sera bon de montrer combien la nature surpasse l'art au moins dans son état présent. Suivant des estimations faites avec le plus grand soin, le plus économique de tous les fourneaux consomme de dix à vingt fois plus de combustible qu'un animal n'en consomme dans l'acte de la respiration pour produire la même quantité de chaleur; et M. Matteucci a trouvé qu'avec une consommation donnée de zinc dans la pile voltaïque, on peut produire un bien plus grand effet mécanique, en faisant agir la pile sur les membres d'une grenouille récemment tuée, malgré les nombreuses défectuosités de ce mode d'application et quoiqu'il soit bien inférieur à celui qui est mis en œuvre dans l'animal vivant, que si la même pile était employée à produire un effet mécanique par l'intermédiaire d'un appareil magnéto-

électrique ou d'un autre moteur artificiel quelconque. Le rapport du premier effet au second était dans ses expériences de six à un. Ainsi dans toutes nos combinaisons artificielles nous ne pouvons qu'appliquer les forces naturelles, et nous les appliquons par des mécanismes grandement inférieurs à ceux qui sont mis en jeu dans l'économie de la nature : aussi un de nos poëtes a dit :

« Nature is made better by no mean;
But Nature makes that mean ; so o'er that art,
Which (we) say adds to nature, is an art
That nature makes. »

« On ne peut par aucun moyen rendre la nature meilleure, ou c'est la nature elle-même qui doit fournir ce moyen ; ainsi au-dessus de cet art que nous disons ajouté à la nature, il est un art que la nature fait. »

M. Thomson a récemment ouvert le champ à des spéculations nouvelles : il fait remarquer qu'il résulte de chaque action mécanique, de chaque action chimique éteinte, une certaine quantité de chaleur, et que cette chaleur étant rayonnée dans l'espace, il doit en résulter une diminution graduelle de la température de la terre ; que par cette perte lente, il est vrai, mais continue, la terre doit finir par être refroidie à un degré incompatible avec l'existence de la vie animale ou végétale ; c'est-à-dire, en résumé, que la terre et les planètes de notre système émettent plus de chaleur qu'elles n'en reçoivent, et que

par conséquent elles doivent aller progressivement en se refroidissant. Les recherches géologiques confirment jusqu'à un certain point cette manière de voir; car elles montrent que le climat de plusieurs portions de la surface terrestre était à des époques éloignées plus chaud qu'à présent : les animaux dont les restes fossiles sont rencontrés dans les anciennes couches ont leur organisme adapté à ce que nous appellerions un climat chaud. Disons cependant que les spéculations cosmiques sont entourées de tant de difficultés, que l'on ne peut accorder qu'une faible confiance même aux plus profondes. Nous ne connaissons pas la source originelle ou primitive de la chaleur terrestre, et beaucoup moins encore celle de la chaleur solaire; nous ne savons pas si, oui ou non, les systèmes des planètes sont constitués de manière à se transmettre les uns aux autres les forces naturelles, de telle sorte que des forces qui jusqu'ici ont échappé à nos moyens d'investigation puissent être dans un état d'échange continu ou périodique.

Les mouvements produits par la pesanteur peuvent être le moyen par lequel certaines forces moléculaires sont mises en jeu au sein de la substance des planètes elles-mêmes. Comme ni par l'observation, ni par le raisonnement, nous ne pouvons assigner ou imaginer aucunes limites à l'ensemble des orbites stellaires; comme chaque accroissement du pouvoir de nos télescopes nous donne, si nous pouvons nous exprimer ainsi, une nouvelle couche d'étoiles, nous pou-

vons regarder notre globe, à sa limite, comme entouré, pour ainsi dire, d'une sphère de matière rayonnant sans cesse de la chaleur, de la lumière et peut-être d'autres forces encore.

Les radiations stellaires ne semblent pas, au moins à en juger par ce que nous savons maintenant, suffisantes pour suppléer à la perte de chaleur due aux radiations terrestres, mais on peut très-bien concevoir que le système solaire entier arrive à passer par des portions de l'espace douées de températures différentes, comme Poisson, je le crois, l'a insinué le premier; dès lors, de même que nous avons un été et un hiver terrestre, nous pourrions avoir aussi un hiver et un été solaire ou propre du système du monde, et dans ce cas la chaleur perdue dans la dernière période serait restaurée pendant la première. La quantité de radiation des corps célestes peut, en outre, par des changements de position, varier après des époques qui soient d'une durée énorme relativement à l'existence de l'espèce humaine.

Les vues de M. Thomson diffèrent essentiellement de celles de Laplace, récemment appuyées par M. Babinet, qui suppose que les planètes ont été formées par une condensation graduelle de la matière nébuleuse. On peut modifier peut-être avec avantage cette manière de voir, et dire que les mondes ou systèmes de mondes, au lieu d'avoir été créés en totalité à des périodes différentes, vont changeant continuellement par des additions ou des soustractions atmosphériques, par des accroissements ou des diminutions

provenant de matière cosmique ou nébuleuse, ou de corps météoriques, de sorte qu'aucune étoile ou planète ne puisse avoir été dite créée ou détruite de toute pièce à aucun moment donné, ou être dans un état de stabilité absolue; mais que quelques-unes soient dans une période d'augmentation, tandis que les autres sont dans une période de diminution, et ainsi à travers l'univers entier, dans le passé comme dans l'avenir. Mais lorsque les questions de cosmogonie relatives au commencement ou à la fin du monde sont envisagées d'un point de vue physique, la période de temps qu'embrasse notre propre expérience, en la prenant dans le sens le plus étendu, est si infiniment petite, relativement au temps que chaque changement notable exige pour se produire, même sur notre propre planète, que toutes les théories qu'on peut former ne peuvent ni être prouvées vraies, ni être démontrées fausses. Nous n'avons aucun moyen de nous assurer que les changements qui se produisent dans le même sens pendant un temps plus long que l'ensemble de l'expérience humaine, sont réellement continus ou simplement des variations séculaires, et qui peuvent être compensées à des périodes bien au delà de celles que nous connaissons, de telle sorte que dans certains cas la question de stabilité ou de changement ne correspond qu'à une période de temps qui, quoiqu'elle semble énorme dans nos calculs, se réduit cependant à rien si on la compare au temps cosmique, si tant est que l'on puisse appeler temps cosmique une

durée peut-être indéfinie. Les questions semblables à celle-ci, quoique d'un genre qui a pour l'esprit humain de grands attraits, sont, au point de vue de l'espoir d'arriver un jour à les éclairer d'une lumière satisfaisante, bien hors de la portée de toute capacité humaine actuelle, ou des capacités qui peuvent être prévues dans l'avenir.

ÉLECTRICITÉ.

L'ÉLECTRICITÉ est cette affection de la matière ou ce mode de force qui a les relations les plus nettes et les plus belles avec les autres modes de force, et montre dans des limites assez étendues, sous une forme quantitative, ses rapports avec eux et leurs rapports mutuels entre eux, ou les uns avec les autres. En raison de la manière dont la force particulière appelée électricité semble se transmettre au travers de certains corps, les fils métálliques, par exemple, on a été amené à se servir du terme de *courant* pour désigner sa propagation apparente. Il est très-difficile de présenter à l'esprit une théorie qui donne une idée bien caractéristique de son mode d'action; les théories primitives regardaient les phénomènes de l'électricité comme produits soit par un seul fluide, idio-répulsif, c'est-à-dire répulsif de lui-même, mais attractif de toute matière; soit par deux fluides, idio-répulsifs en eux-mêmes, mais attractifs l'un de l'autre. En dehors de l'hypothèse

des fluides, on n'a encore proposé aucune autre théorie de l'électricité; et quelle que soit la faveur accordée à cette hypothèse, je pense que plusieurs de ceux qui ont étudié attentivement les phénomènes, ne répugneront pas à les considérer comme résultant non de l'action d'un fluide ou de deux fluides, mais comme une polarisation moléculaire de la matière ordinaire, ou comme la matière ordinaire agissant par attraction et par répulsion dans une direction déterminée. Ainsi, la transmission des courants voltaïques dans les liquides est regardée par Grotthus comme une série d'affinités chimiques s'exerçant dans une direction déterminée : par exemple, dans l'électrolyse de l'eau, c'est-à-dire dans la décomposition de l'eau placée entre les pôles ou électrodes d'une pile voltaïque, une première molécule d'oxygène est supposée déplacée par l'attraction exaltée de l'électrode voisin ; l'hydrogène, mis en liberté par ce déplacement, s'unit avec l'oxygène de la molécule d'eau contiguë ; l'hydrogène de cette seconde molécule est mis en liberté à son tour, et ainsi de suite ; le courant ne serait pas autre chose que cette transmission moléculaire de l'affinité chimique.

Il y a de fortes raisons de croire que, sauf quelques exceptions, comme pour les métaux fondus, les liquides ne conduisent pas l'électricité sans subir la décomposition ; car, même dans les cas extrêmes, où un effet minime de conduction est produit en apparence sans l'élimination ordinaire de subs-

tances autour des électrodes, ces derniers, lorsqu'après les avoir détachés du courant on les plonge dans un nouveau liquide, montrent, par le contre-courant qu'ils produisent alors, que leur état superficiel a été changé, et changé, sans aucun doute, par le dépôt à leurs surfaces de couches de substances présentant des caractères chimiques opposés. La question de savoir si une faible conductibilité peut avoir lieu ou non dans les liquides, sans accompagnement d'action chimique, a été cependant grandement agitée dans ces derniers temps, et peut être regardée comme controversée parmi les sommités de la science.

En supposant pour le moment que l'électrolyse soit le seul phénomène électrique connu, l'électricité paraîtra consister dans une action chimique transmise. La seule manifestation que nous en ayons, est qu'une certaine affection de matière ou un changement chimique prend place sur certains points de l'espace distants l'un de l'autre, mais unis par la matière affectée, le changement produit sur un de ces points ayant un rapport défini avec le changement produit sur l'autre.

Si nous examinons les effets électriques connus sous le nom d'induction, nous trouverons que ces phénomènes sont également en opposition avec la théorie qui voit dans l'électricité un fluide, et s'accordent, au contraire, avec la théorie de la polarisation moléculaire. Si un conducteur électrisé est amené près d'un autre conducteur qui n'est pas électrisé,

ce dernier devient électrisé par influence, ou, comme on le dit, par induction ; les parties les plus rapprochées de ces deux conducteurs manifestent des états d'électricité de dénominations contraires. Avant que ce sujet devînt l'objet des recherches de M. Faraday, on supposait que l'influence du corps non-conducteur ou di-électrique interposé était purement négative, et l'effet produit était attribué à une répulsion à distance du fluide électrique. M. Faraday a montré que les effets produits diffèrent grandement entre eux suivant la nature du corps di-électrique interposé. Ainsi, ils sont beaucoup plus exaltés par l'interposition du soufre que par celle de la gomme laque ; plus avec la gomme laque qu'avec le verre, etc. M. Matteucci, quoique différant de M. Faraday quant à l'explication qu'il a donnée, a ajouté quelques expériences qui prouvent que le corps di-électrique interposé est polarisé moléculairement. Ainsi, il a superposé un certain nombre de lames minces de mica pour en faire une sorte de jeu de cartes ; il a appliqué des lames métalliques sur les faces extérieures du paquet, et il a électrisé l'une d'elles de manière que l'appareil fut chargé comme une bouteille de Leyde. En séparant les lames à l'aide de manches isolés, il a vu que chaque lame était électrisée, une de ses faces étant positive et l'autre négative ; cette expérience met en évidence très-nettement et d'une manière décisive l'existence d'une polarisation produite dans toute la masse de la substance interposée par l'effet de l'induction.

Si maintenant nous examinons l'électricité de l'atmosphère, lorsque, comme c'est le cas le plus ordinaire, elle est positive relativement à celle de la terre, nous trouvons que chaque *stratus* ou couche successive est positive par rapport à celle de dessous, négative par rapport à celle de dessus; le contraire a lieu dans le cas où l'électricité de l'atmosphère est négative par rapport à celle de la terre.

Si nous faisons choix d'autres phénomènes électriques, nous verrons apparaître d'autres changements dans les substances affectées. L'étincelle électrique, l'aigrette électrique et les phénomènes analogues ont été considérés par la vieille théorie comme des émanations actuelles et réelles de la matière ou fluide électrique; je me hasarde à les regarder comme produites par une émission de la matière même du corps d'où elles sortent, et par une action moléculaire du gaz ou intermédiaire au travers duquel elles sont transmises.

La couleur de l'étincelle électrique, ou de l'arc voltaïque (c'est-à-dire de cette flamme qui se joue entre les pointes terminales des conducteurs d'une pile voltaïque puissante) dépend de la substance du métal et subit certaines modifications de la part du milieu qui l'entoure : ainsi l'étincelle électrique ou l'arc du zinc est bleu, celui de l'argent vert, celui du fer rouge et scintillant; or, ces couleurs sont précisément celles que donnent ces métaux dans leur combustion ordinaire. On trouve aussi qu'une portion

du métal est actuellement transmise avec chaque décharge électrique ou voltaïque; dans ce dernier cas, en effet, où la quantité de matière sur laquelle l'électricité agit est plus grande que dans le premier, les particules métalliques émises par les électrodes ou les pointes terminales peuvent être facilement recueillies, essayées et même pesées. Il apparaîtra ainsi que la décharge électrique provient, au moins en partie, d'une répulsion actuelle et d'une séparation de la matière électrisée elle-même qui s'écoule vers les points de moindre résistance.

Un examen consciencieux des phénomènes concernant l'étincelle électrique ou l'arc voltaïque, ce dernier étant la décharge électrique disruptive agissant sur de plus grandes portions de matière, tend à modifier considérablement nos idées préconçues sur la nature de la force électrique comme productrice de l'ignition et de la combustion. L'arc voltaïque n'est peut-être, à strictement parler, ni ignition ni combustion : il n'est pas simplement ignition, puisque la matière des pointes terminales n'est pas seulement amenée à un état d'incandescence, qu'elle est physiquement séparée, et partiellement transportée d'un électrode à l'autre, en même temps qu'elle se dissipe en partie notable à l'état de vapeur : il n'est pas combustion, puisque la combustion est de fait une combinaison chimique accompagnée de chaleur et de lumière. Dans l'arc voltaïque, nous n'avons pas nécessairement de combinaison chimique; car, si l'on fait l'expérience dans un réci-

pient vide d'air ou rempli d'azote, la substance des pôles est condensée et précipitée à la surface intérieure du vase dans un état inaltéré, chimiquement parlant. Ainsi, pour prendre un exemple vraiment frappant, si la décharge voltaïque a lieu entre deux pointes de zinc dans un récipient vide, une fine poussière noire de zinc est déposée sur les flancs du récipient; on peut la recueillir, elle prend feu très-facilement dans l'air, au simple contact d'une allumette ou d'un fil en ignition, et brûle instantanément en se transformant en oxyde de zinc. Pour un observateur ordinaire, le zinc semblera avoir été brûlé deux fois; d'abord, dans le récipient, où le phénomène a toute l'apparence de la combustion, et, secondement, dans la combustion réelle au sein de l'air. Avec le fer, l'expérience est également instructive. Le fer est volatilisé par l'arc voltaïque dans l'azote ou le récipient vide; et si après qu'une couche à peine perceptible a revêtu le verre, on le lave avec un acide, l'eau de lavage, traitée par le ferro-cyanure de potassium, précipitera du bleu de Prusse. Dans ce cas, nous avons réellement distillé du fer, métal qui par les moyens ordinaires est fusible seulement à une température très-élevée.

Une autre forte preuve que la décharge voltaïque consiste dans la matière elle-même dont les pointes terminales sont composées, est cette rotation particulière que l'on observe dans la lumière de l'arc, quand il est dans le voisinage d'un aimant, ou

quand le métal employé est du fer, le caractère magnétique de ce métal faisant que ses molécules sont animées d'un mouvement de rotation sous l'influence du courant voltaïque.

Si nous augmentons le nombre des couples dans la série ou dans la pile voltaïque, nous augmentons la longueur de l'arc et aussi son intensité ou le pouvoir qu'il a de surmonter les résistances qu'on lui oppose. Avec une pile constituée d'un nombre limité de couples, 100 couples, par exemple, la décharge ne passera pas d'une pointe ou pôle à l'autre si on ne les a pas amenés d'abord au contact; mais si nous portons le nombre des cellules ou couples à 400 ou 500, la décharge passera d'un pôle à l'autre avant qu'ils aient été mis en contact. La différence entre ce qu'on a appelé l'électricité de Franklin, produite par une machine électrique ordinaire, et l'électricité voltaïque, produite par la pile voltaïque ordinaire, est que la première est d'une intensité beaucoup plus grande que la seconde; elle possède un plus grand pouvoir de surmonter les résistances, mais elle agit sur une quantité de matière beaucoup plus petite. Si on arrange une pile voltaïque de manière à augmenter l'intensité et à diminuer la quantité, les caractères des phénomènes électriques alors produits se rapprocheront de ceux des machines électriques. Pour arriver à obtenir cet effet, les dimensions des plaques de la pile, et par suite la quantité de matière sur laquelle on agit dans chaque cellule, pourront être réduites, mais il fau-

dra augmenter le nombre des couples. Ainsi, dans une pile de 100 couples de plaques, si chaque plaque est divisée en deux, et la pile disposée de manière à constituer 200 couples, ayant chacun la moitié des dimensions des plaques primitives, les effets de quantité sont diminués et les effets d'intensité sont augmentés. En continuant cette subdivision, en diminuant les dimensions des plaques et augmentant leur nombre, comme cela a lieu dans les piles voltaïques de Deluc et de Zamboni, on finit par obtenir des effets semblables à ceux de l'électricité de Franklin, et nous passons ainsi de l'arc voltaïque à l'étincelle ou à la décharge électrique.

Cette décharge, comme nous l'avons déjà établi, a une couleur dépendante de la nature des pointes terminales ou pôles employés. Si l'on prend pour pòles des plaques très-finement polies, on verra une tache se produire aux points d'où part la décharge, même dans le cas d'une faible étincelle électrique. La matière des pôles est elle-même affectée, et la transmission de cette matière à travers l'espace intermédiaire est mise en évidence par le dépôt sur l'un des pôles de menues quantités de métal ou de la substance dont l'autre pôle est formé.

Si l'on change le gaz ou le milieu élastique compris entre les pointes terminales, on voit naître un changement dans la longueur ou la couleur de la décharge, ce qui prouve que la matière intermédiaire est elle-même affectée. Si le gaz est raréfié, la dé-

charge varie graduellement avec le degré de la raréfaction et passe de la forme d'étincelle à la forme de gerbe lumineuse ou de lumière diffuse, de couleur différente dans les différents gaz, et capable de s'étendre à une bien plus grande distance que lorsqu'elle avait lieu dans l'air à la densité ordinaire. Ainsi, dans de l'air amené à une densité excessivement petite, la décharge peut passer à travers un espace de plus d'un mètre, pendant que dans l'air à la densité ordinaire, elle ne franchirait pas un centimètre. Un observateur qui contemple le beau phénomène produit par la décharge électrique dans l'air raréfié, phénomène qui, dans ses apparences, présente quelques degrés de ressemblance avec l'aurore boréale, et qui, par suite, a été appelé aurore électrique, éprouve quelque difficulté à croire que de semblables effets soient dus à l'action de la matière ordinaire. La quantité de gaz présent est extrêmement petite, et les pointes terminales, si on les examine légèrement, semblent n'avoir éprouvé aucun changement après une longue expérimentation. Il n'est donc pas étonnant que les premiers physiciens qui ont observé ce phénomène et les autres phénomènes semblables aient regardé l'électricité comme étant en elle-même quelque substance, comme ayant une existence spécifique, ou comme un fluide. Cependant, même dans ce cas extrême, après un examen plus attentif, on trouvera qu'il y a eu changement produit soit dans le gaz, soit dans les pointes terminales. Supposons que l'une de ces pointes soit

formée d'un métal parfaitement poli, une plaque d'argent est la meilleure des substances qu'on puisse employer dans ce but, et faisons en sorte que la décharge dans l'air raréfié, partie d'une pointe très-fine, de la pointe, par exemple, d'une aiguille à coudre ordinaire, arrive à la plaque d'argent polie, on trouvera que cette plaque change graduellement d'apparence à l'endroit opposé à la pointe; elle est oxydée, et successivement corrodée de plus en plus à mesure que la décharge continue.

Si nous changeons maintenant le gaz, et si nous substituons de l'hydrogène très-raréfié à l'air raréfié, toutes les autres conditions restant les mêmes, lorsque la décharge viendra à passer de nouveau, l'oxyde sera enlevé ou balayé de dessus la plaque, et le poli sera en grande partie restauré; pas entièrement, cependant, parce que l'argent a été désagrégé par l'oxydation, et la région qui a été atteinte par la décharge présentera une apparence quelque peu différente de celle du reste de la plaque.

Le lecteur sera probablement tenté de nous faire cette question : Quel sera l'effet produit, s'il n'y a pas d'abord sur le trajet de la décharge de milieu oxydant, si la première expérience a été faite au sein d'un gaz raréfié qui n'a pas le pouvoir d'agir chimiquement sur la plaque? Dans ce cas encore, il y aura changement moléculaire ou désagrégation de la plaque; la portion sur laquelle la décharge aura agi présentera une apparence différente de celles des régions environnantes, et une couche blanchâtre,

quelque peu semblable à celle qui recouvre les portions mercurisées d'une plaque daguerrienne, apparaîtra graduellement sur la portion de la plaque affectée par la décharge. Si le gaz est un gaz composé, comme l'oxyde de carbone, ou un mélange, comme l'oxygène et l'hydrogène, s'il contient, par conséquent, des éléments aptes à produire l'oxydation ou la réduction, alors l'effet produit sur la plaque dépendra de son état électrique positif ou négatif; si elle est positive, elle sera oxydée; si elle est négative et recouverte d'oxyde, l'oxyde sera réduit. Cet effet se produira aussi dans l'air atmosphérique s'il est grandement raréfié, et il est difficile de l'expliquer autrement que par une polarisation moléculaire du gaz composé. Si, en outre, le métal est réduit à une petite pointe formée d'une substance sur laquelle le gaz ne peut pas agir chimiquement, on la verra alors se désagréger sous l'influence de l'étincelle électrique. Ainsi, prenons un fil de platine hermétiquement scellé dans un tube de verre, et polissons l'extrémité du tube et du fil pour les amener à l'état de surface plane, de telle sorte que nous n'exposions à la décharge qu'une simple section ou coupe du fil; après qu'il aura reçu la décharge pendant un certain temps, le fil de platine se montrera rongé; son extrémité sera sensiblement au-dessous du niveau du verre. Si la décharge d'un semblable fil de platine est reçue dans un gaz renfermé au sein d'un tube étroit, un nuage ou une couche formée d'un dépôt de platine appa-

raîtra sur la portion du tube qui entoure la pointe du fil.

Un autre effet curieux, que j'ai récemment découvert dans la décharge électrique au sein des milieux raréfiés, est qu'en passant entre des pôles terminaux d'une certaine forme, comme d'un fil de platine, disposé normalement à une plaque polie, la décharge passe par certaines phases ou accès de caractère alternativement différent, de sorte qu'au lieu de l'impression d'une marque uniforme, sur la plaque polie, on voit naître une série d'anneaux concentriques.

Priestley a observé qu'après la décharge d'une batterie de Leyde, des anneaux constitués par des globules fondus de métal se forment sur les plaques terminales; dans les expériences que j'ai faites au sein de milieux raréfiés, les anneaux étaient des zones alternatives d'oxydation et de désoxydation. Ainsi si la plaque est polie, des anneaux d'oxyde coloré alternent avec des anneaux de surface métallique polie ou non oxydée; et si la plaque a été d'abord recouverte d'une couche uniforme d'oxyde, l'oxyde sera enlevé sur des espaces alternant avec les premiers, et sur ceux-ci sa quantité sera augmentée; ce fait met en évidence, dans une même décharge, l'action alternée successive de l'électricité positive et de l'électricité négative, ou d'électricités de caractère opposé.

Ce serait trop se hâter que de dire que dans aucun cas la décharge électrique disruptive ne peut se pro-

duire sans que les surfaces terminales soient affectées. Je n'ai jamais vu cependant un exemple d'un semblable résultat, lorsque la décharge avait été suffisamment prolongée, et que les surfaces terminales étaient dans l'état où l'on doit désirer qu'elles soient pour pouvoir rendre manifestes les changements les plus légers.

La première question qui se présentera quand on poursuivra les recherches que nous avons indiquées, sera probablement celle-ci : Quelle est l'action produite sur le gaz lui-même? A-t-il subi un changement quelconque?

En réponse à cette question nous dirons qu'on doit admettre, dans l'état actuel de nos connaissances expérimentales sur cette matière, que certains gaz seulement semblent garder des traces permanentes du changement que la décharge leur a fait subir ; tandis que pour les autres, si tant est qu'ils aient été modifiés, comme nous sommes disposé à le penser pour plusieurs raisons, ils sont revenus à leur état normal immédiatement après la décharge.

Dans la première classe nous pouvons placer plusieurs gaz composés, comme l'ammoniaque, le gaz oléifiant, le protoxyde d'azote, le deutoxyde d'azote, et autres qui sont décomposés par la décharge. Les gaz mélangés se combinent aussi chimiquement sous la même influence : par exemple, l'oxygène et l'hydrogène s'unissent pour former de l'eau ; l'air ordinaire donne naissance à l'acide ni-

trique; le chlore avec les vapeurs aqueuses donne de l'oxygène, le chlore s'unissant à l'hydrogène de l'eau, etc.

Mais, sans décomposition ou sans combinaison, et lorsqu'il s'agit de gaz simple, on peut constater un changement permanent produit par la décharge électrique. Ainsi l'oxygène soumis à l'action de cette décharge se change partiellement dans la substance appelée ozone, substance considéré actuellement comme étant une condition ou un état allotropique de l'oxygène; et il est des raisons de croire que, lorsque ce changement se produit, le gaz se place dans des conditions déterminées de polarité, que des portions définies de ce gaz sont affectées ou modifiées; que, dans un certain sens, une portion de l'oxygène joue passagèrement, par rapport à l'autre, le rôle que l'hydrogène joue habituellement par rapport à l'oxygène.

Si la décharge passe à travers la vapeur de phosphore dans le vide d'une bonne machine pneumatique, un dépôt de phosphore à un état allotropique revêt bientôt l'intérieur du récipient; ce qui prouve que le phosphore a subi un changement analogue à celui de l'oxygène; dans ce cas aussi une série de bandes transversales ou de stratifications apparues dans la décharge montrent que celle-ci a subi une altération très-frappante dans ses caractères physiques, altération dépendante du milieu à travers lequel elle est transmise. Ces effets ont été d'abord observés par moi en 1852, ils ont été depuis discutés avec beau-

coup de soin par les physiciens du Continent; mais on n'en a encore donné aucune explication rationnelle satisfaisante.

Il y a plusieurs gaz qui ne manifestent aucun changement permanent, ou, ce qui est probablement le cas, dont les changements produits par la décharge n'ont pas encore été mis en évidence. Même pour ces gaz les différences de couleur, de longueur, ou de position d'un certain espace ou de certains espaces sombres qui apparaissent dans la décharge, prouvent qu'elle varie d'un milieu à l'autre. Personne n'a jamais trouvé que la décharge par elle-même ajoutât quelque chose au poids total de la substance soumise à son influence, ou en retranchât quelque chose; personne n'a constaté la présence d'un fluide; ce sont simplement des phénomènes de visibilité, dont on peut rendre compte par les changements produits dans la matière affectée par la décharge.

Ici et partout ailleurs, j'ai usé des mots communément reçus, comme ceux *de matière affectée par la décharge*, etc., quoique dans la manière de voir que je propose, la décharge soit elle-même cette affection de la matière; et le fait que ces mots se soient trouvés sous ma plume, est, pour moi du moins, une preuve frappante de l'esclavage dans lequel les idées sont des mots, puisque, pour exprimer une opinion différente des opinions reçues, j'ai été forcé de me servir de mots qui impliquent les opinions reçues.

Passons maintenant aux effets de la transmission de l'électricité au travers des corps les meilleurs conducteurs, comme les métaux et le carbone; quoique nous ne puissions pas à présent définir exactement les caractères du mouvement imprimé à leurs molécules, plusieurs expériences cependant ont montré qu'il se produit quelque changement au sein de ces substances, lorsqu'elles sont soumises à l'influence de l'électricité.

Faisons passer la décharge d'une bouteille ou d'une batterie de Leyde au travers d'un fil de platine, trop épais pour que la décharge puisse le fondre et libre de toute contrainte, nous trouverons que le fil se raccourcit; il a subi un changement moléculaire sous l'action d'une force en apparence perpendiculaire à sa longueur. Si l'on continue la décharge, le fil se ramasse en petits plis ou sinuosités irréguliers. Il en est de même avec l'électricité voltaïque : placez un fil de platine dans une auge en porcelaine, de sorte que fondu il puisse retenir la position qu'il occupait étant solide, et mettez-le en ignition par le passage du courant. Lorsqu'il a atteint le point de fusion, il se rompt en morceaux dont la position indique une contraction dans le sens de la longueur; et par suite une distension, une augmentation dans le sens transversal. Faisons la même expérience avec un fil de plomb, que l'on puisse maintenir plus facilement à l'état de fusion; nous verrons le fil se ramasser en nœuds qui se pressent les uns contre les autres, comme des grains en matière molle ran-

gés en cordon rectiligne, quand on les comprime longitudinalement.

Lorsque dans ces expériences nous rendons l'épaisseur des fils plus grande sans augmenter proportionnellement la force de la pile, l'effet produit devient moins perceptible; mais, même dans ce cas, nous sommes en mesure d'affirmer que la transmission de l'électricité a été accompagnée de quelque changement moléculaire : les fils sont d'autant moins échauffés que leur épaisseur est plus grande; mais en employant des moyens d'épreuve d'autant plus délicats que les effets caloriques sont moindres, nous pourrons mettre en évidence indéfiniment l'accroissement de température qui accompagne le passage de l'électricité; or partout où il y a une élévation de température, il y a nécessairement dilatation ou changement de position des molécules.

En outre, on a remarqué que les fils qui ont transmis pendant longtemps l'électricité, comme ceux qui ont servi de conducteurs à l'électricité atmosphérique, éprouvent des changements dans leur structure et deviennent cassants. Dans cette observation, quoique faite par un physicien très-ingénieux, M. Peltier, on n'a pas assez éliminé les effets de l'exposition à l'atmosphère, des changements de température, etc., pour qu'on puisse y ajouter une entière confiance. Il existe, cependant, d'autres expériences qui prouvent que l'élasticité des métaux est modifiée par le passage du courant électrique au travers de leur substance.

Ainsi M. Wertheim est arrivé, par une série d'expériences faites avec le plus grand soin, à cette conclusion que le coefficient d'élasticité des fils métalliques subit une diminution temporaire pendant qu'ils transmettent le courant électrique, diminution indépendante de celle due à l'élévation de température produite par le courant.

M. Dufour a récemment fait un nombre considérable d'expériences dans le but de rechercher s'il se produit quelque changement permanent dans les métaux après l'électrisation. Il est arrivé à ce résultat curieux, que dans un fil de cuivre au travers duquel un faible courant a passé pendant plusieurs jours, la ténacité est sensiblement diminuée, tandis qu'au contraire dans un fil de fer la ténacité est augmentée; que ces effets sont plus sensibles lorsque les fils ont été électrisés pendant un temps très-long, dix-neuf jours, que s'ils l'avaient été pendant un temps plus court, quatre jours. Le fil de cuivre dans ces expériences n'était pas parfaitement pur, de sorte que l'effet peut être attribué, en partie du moins, à sa condition d'alliage : dans le cas du fer, la condition magnétique du métal a probablement exercé aussi quelque influence, et peut servir à expliquer le caractère opposé des résultats constatés sur ces deux métaux.

M. Matteucci a fait des expériences sur la conductibilité de l'électricité au travers du bismuth, dans des directions parallèles ou perpendiculaires à celle du plan principal de clivage, et il a trouvé que le

bismuth conduit mieux l'électricité et la chaleur dans la direction du plan de clivage que dans la direction perpendiculaire.

Le fait que la structure ou l'arrangement moléculaire du corps influence, je pourrais dire en réalité, détermine son pouvoir conducteur, n'est nullement expliqué dans la théorie qui fait de l'électricité un fluide; tandis que si l'électricité est seulement une transmission de force ou de mouvement, l'influence de l'état moléculaire est précisément ce qu'elle doit être. Le carbone, à l'état de cristal transparent, ou sous forme de diamant, tient presque le premier rang parmi les corps non-conducteurs que l'on connaisse; tandis qu'à l'état opaque et amorphe, sous forme de graphite ou de charbon, il est presque au premier rang des corps conducteurs; ainsi dans l'un de ses états il transmet la lumière et arrête l'électricité; dans l'autre il transmet l'électricité et arrête la lumière.

Il est une circonstance digne de remarque, c'est que l'arrangement des molécules qui rend un corps solide capable de transmettre la lumière est très-défavorable à la transmission de l'électricité; les solides transparents sont des conducteurs très-imparfaits de l'électricité; de même, tous les gaz transmettent facilement la lumière, et sont rangés parmi les plus mauvais conducteurs de l'électricité, si toutefois, à proprement parler, ils peuvent être dits conducteurs de l'électricité.

La conduction de l'électricité par les différentes

classes de corps a été généralement considérée comme une question de degré, de plus ou de moins; ainsi les métaux sont regardés comme les conducteurs les plus parfaits, le charbon comme un conducteur moyen, l'eau et les autres liquides comme des conducteurs imparfaits. Mais, de fait, quoique entre un métal et un autre le mode de transmission soit au fond le même, et que la différence soit seulement une différence de degré; si l'on compare les métaux avec les liquides électrolytiques, et ceux-ci avec les gaz, on constatera une différence profonde dans les effets moléculaires.

Les gaz raréfiés peuvent, dans un sens, être regardés comme non-conducteurs, dans un autre comme conducteurs; ainsi, lorsque des feuilles d'or ont été rendues divergentes par la répulsion électrique, dans l'air à la pression ordinaire, elles retombent après un temps très-court; tandis que dans l'air grandement raréfié, ou ce qu'on appelle communément le vide, elles demeurent divergentes pendant plusieurs jours; cependant, l'électricité à un certain degré de tension passe facilement à travers l'air raréfié, et passe avec difficulté à travers l'air à la densité ordinaire.

En outre, lorsque les pointes terminales électriques ont été amenées à l'état d'ignition visible, on aperçoit des symptômes de transmission de l'électricité de faible tension à travers les gaz; mais on n'a pas constaté de semblables effets à de basses températures. Tout ce que nous venons de dire

fournit un argument puissant en faveur de l'opinion qui veut que la transmission de l'électricité à travers les gaz se fasse par une sorte de décharge disruptive, et non par une conductibilité semblable à celle qui a lieu avec les métaux ou les électrolytes.

Les attractions et les répulsions ordinaires des corps électrisés ne présentent pas plus de difficulté lorsqu'on les considère comme produites par un changement dans l'état ou dans les rapports de la matière affectée, qu'on n'en trouve à expliquer l'attraction de la terre par le soleil, ou d'une balle pesante par la terre. L'hypothèse d'un fluide n'est pas jugée nécessaire pour rendre compte de cette dernière classe de phénomènes ; et elle ne doit pas l'être davantage pour rendre compte des phénomènes de la première classe. Comment se produisent les phénomènes auxquels on a appliqué la dénomination d'attraction ? C'est toujours un mystère. Newton en en parlant a dit : « Ce que j'appelle attraction peut être produit par impulsion, ou par quelques autres moyens inconnus de moi. Je me sers de ce mot pour signifier seulement en général toute force en vertu de laquelle les corps tendent les uns vers les autres, quelle que puisse être la cause de cette tendance. » Si nous supposons qu'un fluide est en jeu dans les attractions et les répulsions, ce fluide impondérable doit entraîner la matière avec lui ou la pousser; ainsi lorsque nous sentons un courant d'air s'échappant d'une pointe métallique électrisée, chaque molécule d'air contiguë à la pointe étant repoussée,

une autre prend sa place, et elle est repoussée à son tour ; comment un fluide hypothétique pourrait-il nous aider à expliquer ce phénomène ? Si nous disons que le fluide hypothétique se repousse lui-même, ou que l'électricité de même nom repousse l'électricité de même nom, nous serons forcés d'aller plus loin, et d'affirmer qu'elle ne se repousse pas seulement elle-même, mais qu'elle communique sa force répulsive aux particules de l'air, ou emporte avec elle la particule d'air dans son passage. N'est-il pas plus aisé d'admettre que la particule d'air est dans un état tel que les forces ordinaires qui la maintiennent en équilibre sont troublées par la force électrique, ou par des forces qui agissent sur elle dans une direction déterminée, et qu'ainsi chaque particule à son tour s'éloigne de la pointe ? Lorsque cette dernière force augmente, ce ne sont pas seulement les particules d'air contiguës à la pointe qui s'éloignent d'elle ; la cohésion des particules extrêmes du métal peut être assez vaincue pour qu'elles se détachent, et l'étincelle ou l'aigrette peut être formée en tout ou en partie des particules ténues du métal enlevées. Il y a quelque raison de penser qu'il en est ainsi, quoique cette explication ne puisse pas encore être considérée comme arrivée à l'état de démonstration. Un effet semblable se produit avec l'électricité voltaïque lorsqu'on la fait agir sur une pointe terminale plongée dans un liquide ; ainsi quand les pointes terminales d'une pile voltaïque puissante sont immergées dans l'eau, le métal ou l'oxyde du métal

est violemment détaché, et une grande chaleur se produit au point de disruption.

Si nous considérons les effets de l'électricité dans l'économie animale, nous trouvons que la première explication raisonnée des effets convulsifs produits chez un animal vivant ou récemment tué, était que l'électricité elle-même, quelque chose de substantiel, avait passé rapidement au travers du corps, et avait fait naître ces contractions; nous arrivons maintenant pas à pas à la conviction que les particules contiguës des nerfs et des muscles sont affectées par l'électricité. Ainsi l'excitabilité du nerf, ou son pouvoir de produire la contraction musculaire, est affaiblie ou détruite par la transmission de l'électricité dans une certaine direction, tandis qu'elle est augmentée par la transmission de l'électricité dans la direction opposée, ce qui prouve que la fibre ou la matière nerveuse elle-même est modifiée par l'électrisation, et modifiée d'une manière en relation directe avec les autres effets produits par l'électricité.

Certaines portions du muscle ou du nerf présentent des états électriques différents, relativement aux autres portions du même muscle ou du même nerf; ainsi la partie extérieure du nerf joue par rapport à la partie intérieure le même rôle que le platine joue par rapport au zinc dans la pile voltaïque; et un galvanoscope délicat mettra en évidence des effets électriques s'il est interposé dans un circuit conducteur unissant la surface du nerf avec sa portion

intérieure. M. Matteucci a prouvé qu'on peut former une sorte de pile voltaïque avec des sections ou tranches de muscles, disposés de telle sorte que la partie extérieure d'une tranche touche la partie intérieure de la tranche voisine, et ainsi de suite.

Enfin, les effets magnétiques produits par l'électricité sont eux-mêmes la preuve d'un changement survenu dans l'état moléculaire de la substance magnétique influencée par elle, comme nous le prouverons lorsque nous traiterons du magnétisme.

J'ai passé successivement en revue toutes les classes connues des phénomènes de l'électricité, et, autant que j'en puis juger, il n'est pas un seul effet électrique où l'on ne puisse mettre en évidence un changement moléculaire, si on le soumet à une investigation sérieuse, et si l'on choisit convenablement les réactifs propres à mettre en évidence des changements très-petits ; ainsi, en exceptant le cas où l'on n'agit que sur des quantités de matières infiniment petites et où nos moyens d'analyse manquent, les effets électriques nous sont connus seulement comme des changements de matière ordinaire. Il me semble aussi facile d'imaginer que ces effets puissent être produits par une force agissant dans des directions déterminées, que par un fluide qui n'a pas d'existence indépendante et sensible, et dont il faudra admettre qu'il est associé ou qu'il donne naissance à une force agissant sur la matière ordinaire ou sur une matière d'ordre différent de celui auquel le fluide prétendu appartient. A me-

sure qu'on suit de plus près l'idée d'un fluide hypothétique, on la voit s'évanouir de plus en plus, et se résoudre dans l'idée d'une force. L'hypothèse d'une matière sans poids est, à elle seule, je le pense, une objection fatale à la théorie des fluides électriques, et cette objection disparaît entièrement lorsque l'on considère l'électricité comme une force et non comme une matière.

Si l'on persiste à dire que les effets que nous avons étudiés peuvent bien être produits par un fluide, et que ce fluide agit sur la matière ordinaire dans certains cas, en polarisant la matière qu'il influence ou disposant ses molécules dans une direction déterminée, pendant que dans d'autres cas, par sa puissance attractive ou répulsive, il emporte avec lui des portions de matière; nous ferons remarquer que si ce fluide est en lui-même impossible à être dévoilé par aucun réactif, que s'il n'est mis en évidence que par les changements qu'il opère dans la matière pondérable, les mots fluide et force s'identifieraient dès lors dans la conception; et nous serions en droit de dire que l'attraction née de la pesanteur et qui constitue le poids, est aussi bien causée par un fluide que peuvent l'être les changements électriques.

Si, comme nous le faisons constamment dans le langage ordinaire, nous disons qu'un édifice est frappé, une vitre cassée, des métaux fondus ou volatilisés par le *fluide* électrique, est-ce que les expressions dont nous nous servons alors, si elles n'étaient

pas sanctionnées par l'habitude, ne paraîtraient pas absurdes? Dans tous les cas de dégâts causés par l'électricité, on ne perçoit aucun fluide; la prétendue odeur sulfureuse naît, ou de l'ozone développé par l'action de l'électricité sur l'air atmosphérique, ou des vapeurs de quelque substance volatilisée par la décharge; d'un autre côté, il semble plus conforme à l'expérience de regarder ces effets comme produits par des forces, d'autant plus que nous avons des effets analogues produits par des forces reconnues, et dans des circonstances où pour les expliquer nous ne pouvons pas invoquer l'aide d'un fluide hypothétique. Par exemple, de même que des verres peuvent être brisés par des décharges électriques, ils peuvent l'être aussi par des vibrations sonores. Des métaux électrisés et aimantés peuvent émettre un son, de même qu'ils en émettent lorsqu'une note de musique avec laquelle ils peuvent vibrer à l'unisson vient à résonner dans leur voisinage.

Les décompositions chimiques aussi, dans les cas de faible affinité, peuvent être produites par des causes purement mécaniques. M. Becquerel a recueilli un certain nombre d'exemples de ce genre de décompositions, et l'on sait que les substances dont les éléments constituants sont liés par des affinités faibles, comme l'iodure d'azote, sont décomposées par l'effet des vibrations que le son fait naître.

Si au lieu de la considérer comme un fluide ou

comme une matière impondérable, *sui generis,* on regarde l'électricité comme étant le mouvement d'un éther, on retrouve les mêmes difficultés. Admettons que cet éther pénètre les pores de tous les corps, sera-t-il lui-même conducteur ou non-conducteur? S'il est non-conducteur, c'est-à-dire si l'éther est incapable de transmettre l'onde électrique, l'hypothèse éthérée de l'électricité tombe nécessairement; mais si c'est le mouvement de l'éther qui constitue ce que nous appelons la conductibilité de l'électricité, alors les corps les plus poreux, ou ceux qui sont les plus perméables à l'éther, seront les meilleurs conducteurs. Or, ce n'est pas là ce qui a lieu. De plus, si le métal et l'air environnant sont tous deux pénétrés par l'éther, comment se peut-il que l'onde électrique affecte l'éther dans le métal et n'ébranle pas l'éther dans le gaz? Pour soutenir l'hypothèse éthérée de l'électricité, il faudra lui adjoindre un certain nombre d'hypothèses additionnelles et difficilement conciliables entre elles.

La brisure et la réduction en poussière d'un corps non-conducteur, la fusion ou la dispersion d'un fil métallique par la décharge électrique, sont des effets tout aussi difficiles à comprendre dans l'hypothèse d'une vibration éthérée que dans celle d'un fluide, tandis qu'elles sont des résultats nécessaires du renversement soudain de la polarisation moléculaire, ou d'un mouvement vibratoire subit ou irrégulier de la matière elle-même. Nous voyons des effets semblables produits par les vibrations sono-

res, et qu'on pourrait nommer la conduction ou la non-conduction du son. Un corps transmet facilement le son, un autre l'arrête ou l'éteint, selon l'expression reçue, c'est-à-dire, disperse ses vibrations au lieu de les continuer dans la direction de l'impulsion primitive; et des corps solides peuvent, comme nous l'avons rappelé ci-dessus, être brisés par l'impulsion soudaine du son, dans les cas où toutes leurs parties ne peuvent pas transmettre uniformément le mouvement ondulatoire.

L'histoire du progrès de la philosophie physique peut, jusqu'à un certain point, nous donner la raison de l'adoption par les premiers électriciens de la théorie des fluides.

Les anciens, lorsqu'ils étaient témoins d'un phénomène naturel sans analogie avec les phénomènes ordinaires, et qu'ils ne pouvaient expliquer par aucune des actions mécaniques à eux connues, le rapportaient à un esprit, à une puissance spirituelle ou surnaturelle. C'est ainsi que Thalès a prêté une âme à l'ambre et à l'aimant; que les fonctions de la digestion, de l'assimilation, etc., ont été attribuées par Paracelse à l'action d'un esprit.

Peu à peu, l'air et les gaz, dont on fit d'abord des êtres spirituels, furent revêtus d'un caractère plus matériel; et le mot *gaz*, qui a pour origine le mot allemand *Geist*, âme, esprit, nous offre un exemple du passage graduel de la conception spirituelle à la conception physique.

La démonstration donnée par Torricelli du ca-

ractère pondérable de l'air et des gaz, montra que des substances qu'on avait crues spirituelles et essentiellement différentes de la matière pondérable, étaient revêtues de ses attributs. Il en résulta un mode de raisonner moins superstitieux; et les fluides aériformes sont actuellement considérés comme analogues dans plusieurs de leurs actions aux liquides ou aux fluides connus. La croyance à l'existence d'autres fluides, qui diffèrent de l'air comme l'air diffère de l'eau, alla grandissant, et, lorsqu'un phénomène nouveau se présentait, on recourait à un fluide hypothétique pour l'expliquer et établir sa liaison avec les autres; une fois possédé de l'idée d'un fluide, l'esprit l'eut bientôt revêtu des pouvoirs et des propriétés nécessaires, et il greffa sur lui une luxuriante végétation de bourgeons imaginaires.

Dans ce que je viens d'admettre, je désire me défendre du reproche que l'on pourrait me faire, de prétendre que le progrès de la théorie, considéré au point de vue historique, a suivi exactement les découvertes qui eurent assez de portée pour lui faire changer de caractère; quelquefois une découverte précède, d'autres fois elle suit le changement opéré dans le cours général des idées; dans d'autres circonstances, et peut-être le plus souvent, elle fait l'un et l'autre; c'est-à-dire que la découverte est le résultat de la tendance de l'époque et du perfectionnement continu des méthodes d'observation; et que, quand elle a été faite, elle étend les vues qui y

ont conduit. Je crois que les phases de pensée par lesquelles les philosophes physiciens ont passé sont en général celles que j'ai indiquées; et que l'accumulation graduelle de découvertes qui s'est produite dans des périodes plus récentes, en montrant quels effets les seules causes dynamiques sont capables de produire, tend rapidement vers une théorie dynamique générale dans laquelle la théorie des impondérables viendra définitivement se fondre.

En partant de l'électricité comme force initiale capable d'engendrer les diverses autres affections de la matière, nous rencontrons d'abord le *mouvement* qu'elle produit directement sous diverses formes; par exemple, l'attraction et la répulsion des corps, mises en évidence par les électromètres mobiles, comme celui de Cuthbertson, où de grandes masses sont mises en jeu, la rotation d'un volant, autre forme de la répulsion électrique, etc., sont des modes de mouvement palpable et visible.

Il semble que l'on peut déduire plusieurs conséquences curieuses de la doctrine de la conversion de l'électricité en mouvement ou en force mécanique.

On peut citer plusieurs cas dans lesquels on ne suppose pas qu'il y ait de l'électricité perdue et où cependant il y a production d'un certain effort mécanique. Si, par exemple, une balle ou pendule électrique oscille entre deux conducteurs électrisés, l'un positivement, l'autre négativement, aucune des

théories reçues de l'électricité ne nous conduit à croire qu'il y aura quelque différence dans la quantité actuelle d'électricité transportée ou mise en jeu si le pendule vient à être attaché à un levier qui imprime le mouvement à une roue ou produise un autre effet mécanique.

Il s'est présenté récemment à mon esprit une expérience d'un genre nouveau, faite d'abord dans une de mes conférences à l'Institution royale de Londres, et que je décrirai ici comme pouvant venir à l'appui de la théorie, qui veut que, lorsque l'électricité produit un travail mécanique effectif, il y ait perte de pouvoir électrique. L'expérience se fait de la manière suivante : Une grande bouteille de Leyde est en communication par son armure intérieure avec un électromètre de Cuthbertson ; entre l'électromètre et l'armure extérieure de la bouteille, on installe une paire de boules déchargeantes placées à une certaine distance l'une de l'autre. Entre la grande bouteille et le conducteur principal de la machine électrique, on établit une autre petite bouteille de Leyde, qu'on peut appeler bouteille unité, parce qu'elle sert à jauger en quelque sorte l'électricité dont se charge la grande bouteille. Cela posé, on fixe la balance de l'électromètre par un fil rigide interposé entre les boutons attirants, et l'on charge la grande bouteille par une série de décharges de la bouteille unité. Après un certain nombre de décharges de cette petite bouteille, la grande bouteille se décharge à son tour à travers

l'intervalle qui sépare les deux boules déchargeantes; cette décharge, à la distance établie, peut être considérée comme une mesure du pouvoir électrique reçu par la grande bouteille de la bouteille unité. On répète ensuite l'expérience après avoir retiré le fil rigide entre les boutons attirants; par là même, le trébuchement de la balance et l'élévation du poids sont déterminés par l'attraction et la répulsion électrique des boutons redevenus mobiles, de sorte que, dans cette disposition, un certain travail mécanique intervient; or, aussitôt que la grande bouteille avait reçu, par le même nombre de décharges de la petite, la même quantité d'électricité que dans la première expérience, la balance trébuchait, l'un des boutons mobiles allait trouver l'autre; mais il n'y avait plus de décharge de la grande bouteille à travers l'intervalle qui séparait les deux boules déchargeantes en rapport avec les armures, ce qui prouve qu'il y avait quelque électricité perdue ou convertie dans le travail mécanique qui avait fait trébucher la balance et élever le poids. Dans un autre mode d'interprétation de ce fait, on pourrait dire que l'électricité a été masquée, qu'elle a été amenée à un état analogue à celui de la chaleur latente, mais qu'elle reparaîtra ou sera restituée si l'on ramène les deux boutons à leur position d'équilibre par l'action d'une force extérieure.

Quoique cette expérience soit parfaitement conforme à la théorie, ce serait trop se presser que de s'y fier pleinement avant qu'elle ait été répétée avec

des instruments plus délicats. Il est cependant très-difficile de comprendre comment, dans les deux cas, si l'élévation du poids, qui est un travail extérieur, et tel que le poids en retombant peut engendrer de l'électricité ou une nouvelle force, avait lieu sans perte d'électricité, nous ne tomberions pas dans l'impossibilité de la force produite de rien, ou du mouvement perpétuel.

L'expérience que nous venons de décrire peut mettre sur la voie d'expériences semblables qu'on pourra varier à l'infini. Ainsi, j'ai trouvé que deux balles que l'on empêche de diverger sous l'influence de l'électricité, transmettent à l'électromètre une plus grande quantité d'électricité que si, pendant qu'on les électrise, on les laisse diverger. C'est là la réciproque de la proposition qui précède.

Les expériences électriques de ce genre ont, si on les compare aux expériences semblables faites sur la chaleur, un avantage assez considérable, c'est que, quoiqu'on ne puisse pas isoler parfaitement l'électricité, on l'isole cependant beaucoup mieux qu'on ne peut le faire pour la chaleur.

L'électricité produit directement la chaleur, comme on le voit dans le fil mis en ignition par le passage du courant dans l'étincelle électrique et l'arc voltaïque ; ce dernier est la source de la chaleur artificielle la plus intense que nous connaissions encore, d'une chaleur si intense qu'elle ne peut pas être mesurée, qu'elle fond et volatilise toute sorte de matière.

Dans le phénomène de l'ignition électrique, tel qu'il est manifesté par le fil qui unit les pôles d'une pile, le rapport de force et de résistance et le caractère corrélatif des deux forces, électricité et chaleur, sont démontrés d'une manière frappante. Joignez par un fil fin de platine les pôles d'une pile voltaïque de puissance convenable, le fil sera mis en ignition, et il se produira dans les auges de la pile une certaine quantité d'action chimique; une quantité définie de zinc sera dissoute, et une quantité définie d'hydrogène sera mise en liberté dans un temps donné. Si maintenant nous plongeons le fil de platine dans l'eau, la chaleur entraînée par les courants en circulation dans le fluide se dissipera plus rapidement, et nous trouverons que l'action chimique dans la pile a subitement augmenté, qu'une plus grande quantité de zinc a été dissoute, et plus d'hydrogène mis en liberté dans le même temps; si la chaleur est emportée par l'eau qu'on fera couler, il faudra plus d'action chimique encore pour l'engendrer; absolument comme il faut plus de combustible à mesure que l'évaporation devient plus rapide.

Retournons l'expérience, et, au lieu de placer le fil dans l'eau, plaçons-le au sein de la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, de sorte que la force de la chaleur ait à vaincre une plus grande résistance pour se dissiper : nous trouverons alors que l'action chimique est moindre que dans l'expérience première ou normale. Si le fil est placé au sein d'autres

milieux gazeux ou liquides, nous verrons que l'action chimique dans la pile est proportionnelle à la facilité avec laquelle la chaleur circule ou rayonne à travers ces milieux, et nous établirons ainsi une réciprocité alternative d'action entre ces deux forces. Une réciprocité semblable peut être constatée entre l'électricité et le mouvement, entre le magnétisme et le mouvement, et ainsi des autres forces. Si elle ne peut pas être réalisée avec toutes, c'est probablement parce que nous n'avons pas encore éliminé les actions perturbatrices ou interférentes. Si nous considérons avec soin ce sujet, nous arriverons, à moins que je ne me fasse grandement illusion, à cette conclusion qu'il ne peut pas en être autrement, à moins que l'on ne suppose que la force peut naître de rien, ou peut exister sans une force antécédente.

Dans les phénomènes de l'arc voltaïque et de l'étincelle électrique, sur lesquels j'ai déjà appelé l'attention, l'électricité produit directement la lumière de la plus grande intensité connue. Elle produit directement le magnétisme, comme l'a montré Oersted, qui, le premier, mit en évidence, distinctement, la liaison entre l'électricité et le magnétisme. Ces deux forces agissent l'une sur l'autre, non pas en ligne droite, comme toutes les autres forces connues, mais suivant une ligne perpendiculaire, c'est-à-dire que les corps affectés par l'électricité dynamique, ou les conducteurs d'un courant électrique, tendent à placer les aimants à angle droit avec eux; et que,

réciproquement, les aimants tendent à placer à angle droit avec eux les conducteurs de l'électricité. Ainsi, un courant électrique semble exercer une action magnétique dans une direction qui coupe à angle droit sa propre direction ; ou, en supposant que sa section soit un cercle, tangentiellement à ce cercle ; si donc, nous renversons la position et que nous amenions le courant électrique à former une série de tangentes à un cylindre imaginaire, ce cylindre sera un aimant. On réalise cet effet dans la pratique en contournant un fil en hélice ou en spirale ; cette hélice et cette spirale, traversées par un courant électrique, sont à tous égards et pour tous les besoins un véritable aimant. Un noyau en fer doux, placé dans l'axe d'une semblable hélice, a la propriété de concentrer son pouvoir magnétique, et nous pouvons par là, en établissant ou rompant la liaison avec la source d'électricité, faire ou défaire instantanément un aimant très-puissant.

Nous pouvons nous figurer à l'esprit la matière électrisée et magnétisée comme constituant des lignes dont les extrémités se repoussent l'une l'autre dans une direction déterminée ; ainsi, si la ligne AB représente un fil affecté par l'électricité, et superposé à un fil CD affecté par le magnétisme, les points extrêmes A et B iront se placer à la plus grande distance possible des points C et D, c'est-à-dire à angle droit avec la ligne qui les joint ; et si les deux lignes sont subdivisées en un certain nombre d'élé-

ments d'une certaine étendue, chaque élément du premier fil aura ses deux extrémités ou ses deux pòles répulsifs des pôles de l'élément de l'autre fil. Si la ligne de matière affectée par l'électricité est un liquide, et si, par conséquent, ses particules ont une entière mobilité, l'aimant produira sur lui un mouvement continu, chaque particule tendant successivement, pour ainsi dire, à fuir, tangentiellement à l'aimant; ainsi, placez un disque plat contenant de l'eau acidulée sur les pôles d'un aimant puissant, plongez les pôles d'une pile voltaïque dans le liquide, juste au-dessus des pôles magnétiques, de telle sorte que les lignes d'électricité et de magnétisme coïncident, l'eau prendra alors un mouvement à angle droit avec cette direction commune, coulant continuellement comme sous le souffle d'un vent équatorial que l'on peut faire souffler soit de l'est, soit de l'ouest, par rapport aux pôles magnétiques, en changeant la direction du courant électrique : on peut réaliser la même expérience avec le mercure. Ces phénomènes sont une nouvelle preuve à ajouter à celles que nous avons déjà citées de ce fait que les particules de la matière sont affectées par les forces de l'électricité et du magnétisme d'une manière irréconciliable avec l'hypothèse d'un fluide ou d'un éther.

Séduit par le fait singulier que le magnétisme et l'électricité agissent dans des directions perpendiculaires l'une à l'autre, Coleridge a comparé ces deux forces aux expansions transversales de la ma-

tière, longueur et largeur; puis, exagérant maladroitement son idée, il a voulu faire du galvanisme la troisième dimension, ou la profondeur : existe-t-il une troisième force qui ait réellement ce rapport avec l'électricité et le magnétisme? C'est une question que nous ne sommes en aucune manière en état de résoudre.

Le rapport de la force attractive produite au courant électrique qui la produit a été l'objet des recherches d'un certain nombre d'expérimentateurs et de mathématiciens. Les données du problème sont si multiples et si variables, qu'il est difficile d'arriver à un résultat définitif. Ainsi, les dimensions relatives du fil et du fer; le degré de trempe et de dureté de ce dernier, sa forme ou la proportion de sa longueur par rapport à son diamètre, le nombre de tours de fil, le pouvoir conducteur du métal dont le fil est formé, les dimensions de l'armature ou du fer dans lequel le magnétisme est induit, le degré de constance de la pile, etc., rendent l'interprétation des expériences très-difficile.

La relation générale la plus digne de confiance à laquelle on soit arrivé, est que l'attraction magnétique est proportionnelle au carré de la force électrique; ce résultat est dû aux recherches de MM. Lenz et Jacobi, et aussi de sir William Snow-Harris.

L'électricité enfin produit l'*affinité chimique,* et, par son action, nous pouvons obtenir des effets d'analyse ou de synthèse que nous demanderions en

vain à la chimie ordinaire. Nous avons des exemples de ces effets dans les brillantes découvertes de Davy sur les métaux alcalins, et dans les formations cristalines particulières que MM. Becquerel et Crosse ont fait connaître.

LUMIÈRE.

En abordant le sujet de la LUMIÈRE, il sera bon de décrire brièvement, et d'une manière aussi indépendante que possible de toute théorie, les effets auxquels on a appliqué le terme de polarisation. Si la lumière est réfléchie sous certains angles à la surface de l'eau, du verre ou de plusieurs autres milieux, elle subit un changement qui la rend incapable d'être de nouveau semblablement réfléchie dans une direction à angle droit avec celle sous laquelle la première réflexion a eu lieu. La lumière ainsi affectée ou modifiée est dite polarisée; elle reste toujours capable d'être réfléchie dans des plans parallèles au plan dans lequel elle a d'abord été réfléchie; mais incapable d'être réfléchie dans des plans perpendiculaires ou à angle droit avec le premier plan de réflexion. Dans des plans correspondant à des directions intermédiaires, entre le plan primitif de réflexion et le plan qui lui est perpendiculaire, la lumière pourra être partiellement réfléchie, plus ou

moins, suivant que la direction du second plan de réflexion coïncidera plus ou moins avec le plan primitif. La lumière, en outre, si elle passe au travers d'un spath d'Islande, est doublement réfractée, c'est-à-dire qu'elle se partage en deux faisceaux ou rayons, dont chacun a la moitié de l'intensité de la lumière primitive incidente; ces deux rayons sont polarisés dans des plans à angle droit, l'un par rapport à l'autre; et s'ils sont interceptés par une plaque de tourmaline, l'un d'eux est absorbé, de sorte qu'il ne sort qu'un seul rayon polarisé. Des effets semblables peuvent être produits par certaines autres réflexions et réfractions. Un rayon une fois polarisé dans un certain plan, continue de l'être dans toute sa course ultérieure; et à toute distance même indéfinie du point où il a originairement subi ce changement, son plan de polarisation restera le même, pourvu que les milieux qu'il aura traversés soient l'air, l'eau, ou certaines autres substances transparentes que nous n'avons pas besoin d'énumérer. Si cependant le rayon polarisé, au lieu de passer à travers l'eau, passe à travers l'huile de térébenthine, la direction première de son plan de polarisation sera changée, et le changement de direction croîtra continuellement avec la longueur de la colonne de liquide interposé. La série de ces plans successifs de polarisation, au lieu de former un plan unique ou uniforme, détermine une surface courbe, semblable à celle que prendrait une bande de carton, si l'on forçait ses bords à suivre les rainures opposées d'un

canon de fusil rayé; cet effet curieux est produit par différents milieux. La direction aussi du changement varie; la rotation du plan de polarisation, c'est ainsi qu'on l'appelle, étant tantôt de la gauche vers la droite, ou de la droite vers la gauche, suivant le caractère moléculaire particulier du milieu à travers lequel le rayon polarisé est transmis.

La lumière est peut-être des divers modes de force celui dont les rapports mutuels ou réciproques avec les autres ont été le moins nettement tracés. Jusqu'à l'époque des découvertes de Niepce, de Daguerre, de Talbot, on ne pouvait presque rien affirmer de précis relativement à l'efficacité de la lumière pour la production des autres modes de force. Certains composés chimiques, parmi lesquels proéminent les sels d'argent, ont la propriété de subir une décomposition lorsqu'on les expose à la lumière. Si, par exemple, du chlorure d'argent récemment préparé est soumis à l'action des rayons lumineux, il en résultera une décomposition partielle; le chlore sera séparé et mis en liberté par l'action de la lumière; et l'argent sera précipité. Par cette décomposition la couleur de la substance passe du blanc au bleu. Si maintenant on imprègne un papier de chlorure d'argent, ce qui peut se faire par un simple procédé chimique, et qu'on le recouvre en partie par une substance opaque, une feuille d'arbre, par exemple, puis qu'on l'expose à une forte lumière, le chlorure sera décomposé sur toutes les parties pour lesquelles la lumière n'est pas interceptée, et nous aurons,

par l'action de la lumière, une image blanche de la feuille sur un fond pourpre. Si l'on place un papier semblable au foyer d'une lentille dans une chambre obscure, les images peintes sur sa surface décomposeront le chlorure, en proportion précisément de leurs intensités lumineuses; et par conséquent, puisque les portions plus lumineuses de l'image noirciront davantage le chlorure, nous obtiendrons une peinture avec inversion des lumières et des ombres. La peinture ainsi produite ne serait pas permanente, parce qu'une exposition subséquente noircirait les portions lumineuses du dessin ; pour la fixer, il faut immerger le papier dans une solution qui jouisse de la propriété de dissoudre le chlorure d'argent et non l'argent métallique. L'iodure de potassium produira cet effet; et le papier après avoir été lavé et séché conservera une image permanente des objets qui se seront peints eux-mêmes. Ce mode de reproduction est le procédé premier et simple de M. Talbot; mais il est défectueux sur plusieurs points et ne fait pas atteindre parfaitement le but proposé. D'abord il n'est pas suffisamment sensible, il faut pour produire l'image une forte lumière et un long temps; secondement, les lumières et les ombres sont renversées; troisièmement, le tissu grossier du papier même le plus fin ne permet pas que les traits délicats des objets soient nettement imprimés. Ces défauts sont évités, jusqu'à un certain point, dans un procédé inventé plus tard par M. Talbot, qui porte son nom, et qui a conduit aux procédés sur collo-

dion et à d'autres qu'il n'est point nécessaire d'énumérer ici.

Les photographies de Daguerre, qui sont maintenant familières à tout le monde, sont produites en plaçant d'abord une plaque d'argent parfaitement polie au-dessus d'une couche d'iode; une couche mince d'iodure d'argent est ainsi formée à la surface du métal; et si la plaque iodurée est exposée dans la chambre obscure, il se produit une altération chimique. Les portions de la plaque, sur lesquelles tombe la lumière, perdent quelque chose de leur iode, ou subissent un autre changement (car la théorie est encore quelque peu incertaine à cet égard) de manière à devenir susceptibles d'une amalgamation facile. Si, par conséquent, la plaque est placée au-dessus des vapeurs du mercure chauffé, le mercure s'attachera aux portions affectées par la lumière, et leur donnera l'aspect d'une surface couverte de givre blanc; les teintes intermédiaires seront moins modifiées, et les parties sur lesquelles la lumière n'a pas tombé apparaîtront obscures, parce qu'elles n'ont pas perdu leur poli primitif; l'iodure d'argent est alors lavé avec de l'hyposulfite de soude, qui a la faculté de le dissoudre; et il reste une peinture dans laquelle les lumières et les ombres sont comme dans la nature; d'ailleurs l'uniformité moléculaire de la surface métallique permet aux détails les plus microscopiques de se peindre eux-mêmes avec la plus parfaite exactitude. Si l'on emploie, au lieu d'iode, du chlorure ou du bromure d'iode,

l'équilibre des forces chimiques est rendu beaucoup plus instable, de sorte que les images sont prises dans une période de temps indéfiniment plus courte, presque instantanément.

Ce serait sortir des limites de cet essai que de prétendre décrire en détail les diverses branches si belles entées sur l'arbre de la photographie, les découvertes importantes auxquelles cet art a conduit, les applications pratiques qu'il a reçues. Le court aperçu que j'ai donné plus haut est peut-être même superflu, car, quoiqu'ils fussent tout à fait nouveaux et surprenants à l'époque où ces leçons furent données, les procédés de la photographie sont devenus maintenant familiers non-seulement à ceux qui cultivent les sciences, mais aux artistes et aux amateurs; le point important qu'il faut prendre ici en considération, est que la lumière affecte la matière chimiquement et moléculairement. Ce ne sont pas seulement les composés particuliers pris comme exemples qui sont altérés par l'action de la lumière; un très-grand nombre de substances simples ou composées sont notablement affectées par cet agent, même celles qui en apparence sont d'un caractère tout à fait inaltérable, comme les métaux; les substances modifiées par la lumière sont en réalité si nombreuses que l'on a supposé, non sans raison, que la matière, de quelque nature qu'elle soit, est altérée par son exposition à la lumière.

La découverte si tardive des effets de la lumière sur les composés chimiques nous montre d'une

manière très-frappante jusqu'à quel point une force toujours active peut rester ignorée à travers les longs âges successifs de la philosophie naturelle. Si nous supposons que les murs d'une grande chambre sont armés d'appareils photographiques, la petite quantité de lumière réfléchie par le visage d'une personne située au centre de cette chambre, imprimera simultanément son portrait sur une multitude de surfaces disposées pour le recevoir. S'il n'y avait pas d'appareils, mais que la chambre fût tapissée de papier photographique, il se produirait également un changement en chaque point de ce papier, mais sans reproduction de forme et de figure. D'autres substances, qui ne sont pas communément appelées photographiques, sont elles-mêmes influencées par la lumière, et la liste de ces substances peut s'étendre indéfiniment; ce sera dès lors un curieux sujet de contemplation que de considérer combien la lumière opère chaque jour de changements dans la matière pondérable; comment une force, connue seulement pendant longtemps par ses effets sur l'organe de la vision, peut incessamment produire des modifications sur la terre et dans l'atmosphère, en outre des changements qu'elle amène dans l'état des tissus organisés et qu'on commence maintenant à étudier plus généralement. Ainsi, chaque rayon de lumière peut être supposé écrire à chaque instant sa propre histoire, par un changement plus ou moins permanent sur la matière pondérable.

Feu George Stephenson avait une idée favorite, et cette idée, au moment présent, semblera plus philosophique qu'elle ne pouvait l'être de son temps; il croyait que la lumière que nous obtenons la nuit, du charbon ou d'un autre combustible, était une reproduction de la lumière venue du soleil, que les êtres à structure organique ou végétale auraient autrefois absorbée. La conviction que le rayon passager imprime son histoire sur le monde, amène aussi notre esprit à prendre en considération les divers agents qui peuvent exercer une certaine influence et dont nous ignorons encore l'existence et les effets autant que les anciens ignoraient l'action chimique de la lumière.

Je me suis servi des mots lumière et affectés par la lumière en parlant des effets photographiques; mais, quoique ces phénomènes empruntent leur nom de la lumière, plusieurs investigateurs compétents se sont demandé si les phénomènes de la photographie ne dépendaient pas plus principalement de quelque agent séparé et qui accompagne la lumière, que de la lumière elle-même.

Il est vraiment difficile de ne pas croire qu'une peinture prise au foyer de la chambre obscure et qui représente à l'œil toutes les gradations de lumière et d'ombre de l'image lumineuse primitive, ne soit pas un effet de la lumière. Il est cependant certain que les rayons de diverses couleurs exercent une action différente sur les composés chimiques, et que les effets de plusieurs d'entre eux, peut-être

même de tous, ne sont pas proportionnels dans leur intensité aux effets qu'ils produisent sur l'organe de la vision. Ces différences, toutefois, sont plutôt des différences de degré que des différences spécifiques; et, sans me prononcer moi-même positivement sur une question si peu examinée jusqu'ici, je pense qu'il est plus sage de regarder l'action exercée sur les composés chimiques comme résultant d'une fonction remplie par la lumière. A ce point de vue, la lumière nous apparaît comme une force initiale ou primitive capable de produire médiatement ou immédiatement les autres modes de force. Ainsi, elle produit immédiatement l'action chimique; et, avec l'action chimique, nous entrons en possession des moyens nécessaires à la production des autres forces. Dans mes leçons de 1843, j'ai fait une expérience qui met en évidence la production de tous les autres modes de force par la lumière : je vais la décrire brièvement ici. Une plaque daguerrienne préparée est enfermée dans une boîte remplie d'eau, et fermée par une lame de verre recouverte d'un écran mobile. Entre le verre et la plaque, je place un grillage de fil d'argent; la plaque est en contact avec l'une des extrémités du fil d'un galvanomètre, et le grillage de fil avec l'extrémité d'une hélice de Bréguet (élégant instrument formé d'une lame très-mince de deux métaux soudés ensemble, et dont les dilatations inégales indiquent les plus légères variations de température); les extrémités restantes du fil du galvanomètre et de

l'hélice thermométrique sont unies par un fil conducteur ; et les aiguilles du galvanomètre et du thermomètre sont amenées à zéro. Aussitôt qu'un rayon de lumière diffuse, ou d'une lampe oxy-hydrogène, trouve accès sur la plaque, par le déplacement de l'écran, les aiguilles se dévient. Ainsi, en prenant la lumière pour force initiale, nous avons sur la plaque *une action chimique ;* dans les fils d'argent, de l'*électricité* circulant sous forme de courants ; dans la bobine du galvanomètre, du *magnétisme ;* dans l'hélice, de la *chaleur;* dans les aiguilles, du *mouvement.*

Il est d'autres effets plus directs d'électricité et de magnétisme produits par la lumière, comme ceux observés par Morichini et autres, ainsi que l'influence exercée sur la cristallisation ; mais les résultats de ce genre obtenus jusqu'ici sont d'un caractère si vague, qu'on ne peut encore les regarder que comme un champ ouvert à de nouvelles expériences, plutôt que comme des preuves positives des rapports de la lumière avec les autres forces.

La lumière semble produire directement la chaleur dans les phénomènes désignés sous le nom d'absorption de la lumière ; et, dans ces phénomènes, nous trouvons que la chaleur développée est à peu près en proportion avec la lumière disparue. Rappelons d'abord la vieille expérience qui consiste à placer sur de la neige exposée au soleil des séries de pièces d'étoffes diversement colorées : l'étoffe noire, absorbant le plus de lumière et développant

le plus de chaleur, s'enfonce dans la neige plus profondément que les autres; les autres couleurs ou nuances de couleurs descendent de moins en moins à mesure qu'elles absorbent ou qu'elles font disparaître une moins grande quantité de lumière, jusqu'à ce que nous arrivions à l'étoffe blanche qui reste à la surface. Les pouvoirs calorifiques des rayons diversement colorés ne sont cependant pas exactement, proportionnels à leurs intensités lumineuses, ou aux effets qu'ils produisent sur l'organe de la vision. La lumière rouge, obtenue par dispersion au travers d'un prisme de verre, et prise dans le spectre solaire, exerce dans les phénomènes de l'absorption une plus grande influence calorifique que la lumière violette, ainsi qu'il a été observé par sir William Herschel. Ces mêmes rayons rouges, cependant, produisent un effet dynamique plus grand; ils pénètrent dans l'eau à de plus grandes profondeurs que les autres rayons : le docteur Seebeck a signalé plus tard une autre anomalie, il a montré que lorsque la lumière est réfractée par un prisme d'eau, les rayons jaunes sont ceux qui produisent le plus grand effet calorifique. Mais cette matière demande à être éclairée par beaucoup d'expériences avant que nous puissions donner la raison des rapports de la lumière et de la chaleur dans cette classe de phénomènes.

Dans une précédente édition de cet essai, j'ai suggéré l'expérience suivante sur ce sujet : Faites passer un rayon de lumière au travers de deux plaques

de tourmaline, ou autre substance semblable, et examinez la température de la seconde plaque, de celle qui est frappée en dernier lieu par la lumière, ou dont la lumière sort; d'abord, lorsqu'elle est dans une position à transmettre le rayon polarisé qui vient de la première plaque, puis, lorsqu'elle a été tournée à 90°, et que le rayon polarisé est absorbé. Je m'attendais, en supposant l'expérience faite avec le plus grand soin, à ce que la température de la seconde plaque fût plus élevée dans le second cas que dans le premier, et j'espérais obtenir des résultats intéressants en soumettant à ce genre d'analyse des rayons de différentes couleurs. Je trouvai beaucoup de difficultés à me procurer un appareil convenable, et je cherchais à les surmonter lorsque j'appris que M. Knoblauch avait jusqu'à un certain point atteint mon but. Il a trouvé que, si un rayon solaire, polarisé dans un certain plan, est transmis perpendiculairement à l'axe par une plaque de quartz enfumé ou de tourmaline, la chaleur est transmise dans une proportion plus faible que lorsque le rayon passe dans une direction parallèle à l'axe du cristal.

Il est généralement, et autant que je puis en juger, universellement vrai, qu'aussi longtemps que la lumière continue à être de la lumière, qu'elle soit d'ailleurs réfléchie ou transmise par différents milieux, il n'y a pas ou il y a peu de chaleur développée, pourvu que les milieux traversés soient transparents; que si un milieu était parfaitement

transparent, il ne se produirait probablement pas le plus léger effet calorifique; que, partout où la lumière est absorbée, la chaleur vient prendre sa place, avec conversion apparente de la lumière en chaleur, nous fournissant aussi une preuve de ce fait que la force de la lumière n'est pas en réalité absorbée ou anéantie, mais qu'elle a seulement changé de caractère; la lumière est, dans ce cas, convertie en chaleur par son contact avec la matière solide, comme dans l'exemple inverse que nous avons cité en traitant de la chaleur, nous avons montré le calorique converti en lumière par sa condensation au sein d'une matière solide. Cependant, comme je l'ai déjà observé antérieurement, cette corrélation de la lumière et de la chaleur n'est pas aussi distincte qu'elle l'est pour d'autres affections de la matière. Une des expériences de Melloni semblerait prouver, il est vrai, que la lumière peut exister dans une condition telle qu'elle ne produirait plus de chaleur, ou du moins de chaleur que nos instruments puissent mettre en évidence; mais on a révoqué récemment en doute l'exactitude de cette expérience.

Le corps qui reçoit la lumière, ou celui sur lequel la lumière tombe, semble exercer une influence aussi grande sur notre perception de la lumière que le corps qui l'émet ou d'où la lumière procède originairement. Les expériences récentes de Sir John Herschel et de M. Stokes ont prouvé que les vibrations rayonnantes qui, en frappant certains

corps, ne produisent aucun effet de lumière, deviennent lumineuses lorsqu'elles frappent d'autres corps.

Ainsi, faisons réfracter la lumière solaire par un prisme (la meilleure matière pour le prisme est le quartz) et recevons le spectre sur une feuille de papier; en regardant sur le papier, l'œil ne découvre aucune lumière au delà du violet extrême. Si, par conséquent, on interpose un corps opaque, juste de manière à intercepter le spectre visible tout entier, le papier deviendra sombre et invisible, à l'exception toutefois d'une légère illumination provenant de la lumière réfléchie par l'air et les corps environnants. Substituons à la portion du papier située au delà du spectre visible un morceau de verre coloré par l'oxyde d'uranium, et le verre deviendra parfaitement visible; il en est encore ainsi avec une fiole contenant du sulfate de quinine, ou une solution d'écorce de marronnier d'Inde, et même avec le papier plongé dans ces dernières solutions. D'autres substances produisent cet effet à différents degrés; et, parmi les substances que l'on avait considérées jusqu'ici comme parfaitement analogues dans leurs apparences lumineuses, on a découvert de notables différences. Il est donc démontré que les émanations qui ne produisent sur l'œil aucune impression de lumière lorsqu'elles tombent sur certains corps, deviennent lumineuses lorsqu'elles viennent à en frapper d'autres. Nous pouvons concevoir une chambre tellement construite qu'on

n'en permette l'accès qu'à de telles émanations, et, alors, elle sera obscure ou éclairée suivant la substance dont les murs seront revêtus, et quoique à la pleine lumière du jour, les divers revêtements des murs paraissent tous également blancs; ou bien, sans altérer le revêtement des murs, la chambre exposée à une classe de rayons lumineux serait rendue obscure par la fermeture de volets qui, pour une autre classe de rayons lumineux, seraient transparents.

Si, au lieu de lumière solaire, on emploie dans de semblables expériences la lumière de l'arc électrique, on pourra réaliser un effet non moins surprenant. Un dessin tracé sur papier blanc avec une dissolution de sulfate de quinine dans l'acide tartrique est invisible dans la lumière ordinaire, mais il brille d'un bel éclat quand il est éclairé par la lumière de l'arc électrique. En prononçant sur un effet lumineux, il faut donc avoir égard à la fois et au corps qui reçoit la lumière, et au corps qui l'émet. Ce qui est ou qui devient lumière lorsqu'il tombe sur un certain corps, n'est pas lumière quand il tombe sur un autre corps. Probablement que les rétines des yeux de diverses personnes diffèrent jusqu'à un certain point de la même manière; et la même substance, éclairée par le même spectre, peut se montrer sous divers aspects à divers individus; le spectre apparaissant plus allongé à l'une qu'à l'autre, de sorte que ce qui est lumière pour l'un soit ténèbres pour l'autre, et réciproquement. On peut de même

affirmer que la chaleur est dans une dépendance assez grande du corps qui la reçoit. Si deux vases contenant l'un de l'eau pure et transparente, l'autre de l'eau teinte avec quelque matière colorante, sont suspendus et exposés à un soleil d'été, on constatera, après un temps très-court, une notable différence dans la température des deux vases : le liquide coloré deviendra beaucoup plus chaud que le liquide limpide. Si le premier vase est placé à une distance considérable de la surface de la terre, et le second près de la surface, la différence sera beaucoup plus considérable. En poursuivant cette expérience, et suspendant le premier vase sur le sommet d'une haute montagne, le second dans la vallée, nous obtiendrons une si grande différence de température, que des animaux dont l'organisme serait en rapport avec l'une des températures ne pourraient pas vivre dans l'autre; et, cependant, les deux vases sont exposés aux mêmes rayons lumineux, en même temps, sensiblement à la même distance du corps lumineux; la substance la plus froide est, même de fait, plus près de ce corps que la substance la plus chaude. Ainsi, prenant en considération le milieu qui transmet la chaleur, on peut faire varier considérablement la température d'une serre en changeant la nature du verre dont son toit est formé.

Ces effets ont une grande importance au point de vue de certaines questions de cosmologie qui, dernièrement ont été beaucoup discutées; ils doivent

engager à ne se former qu'avec beaucoup de réserve une opinion sur des sujets comme ceux de la lumière et de la chaleur à la surface du soleil, de la température des planètes, etc., etc. Cette température, en effet, dépend autant de la constitution physique des astres que de leur distance au soleil. La planète Mars nous fournit une analogie assez frappante en faveur du fait que nous énonçons; car quoique sa distance à la terre soit une fois et demie la distance de la terre au soleil, l'accroissement des zones blanches près de ses pôles pendant l'hiver, et leur diminution pendant l'été, prouvent que la température à la surface de cette planète oscille autour du point de congélation de l'eau, comme elle le fait aux zones homologues de notre planète. Il est vrai qu'en faisant ce rapprochement nous supposons que la substance qui change ainsi d'état est de l'eau; mais en raison de plusieurs analogies intimes entre cette planète et la terre, et de l'identité apparente des faits que nous montre le télescope avec ceux qui prennent place à la surface de la terre, cette supposition semble grandement probable.

Ainsi encore, parce que Vénus est plus près du soleil que la terre, il ne s'ensuit nullement que cette planète soit plus chaude que notre globe. La force émise par le soleil peut prendre un caractère différent à la surface de chaque planète différente, et exiger pour son appréciation un organisme ou des sens différents. Des myriades d'êtres organisés peuvent exister sans être perceptibles à notre vue, même

en supposant que nous vivions au milieu d'eux, et nous pourrions nous-mêmes être imperceptibles à leurs regards.

Quoiqu'il puisse être intempestif, dans l'état présent de la science, de raisonner sur de semblables existences, on n'est pas plus fondé à admettre une identité ou un rapprochement étroit entre nos propres formes et celles des êtres qui peuplent les autres mondes.

Par un raisonnement basé sur l'analogie et les causes finales, et sans sortir des limites où ce mode de raisonnement est permis, nous pouvons du moins nous persuader que les globes magnifiques de l'univers ne sont pas des déserts inhabités. Les habitants des autres mondes sont-ils plus ou moins forts, plus ou moins intelligents que nous? leurs facultés sont-elles d'un ordre plus ou moins élevé? Ce sont des questions que nous n'avons aucun espoir de résoudre quant à présent.

La pesanteur spécifique et l'intelligence n'ont pas entre elles de liaison nécessaire. Sur notre propre planète cinq sens et une densité moyenne égale à celle de l'eau ne sont pas invariablement associés à la grandeur intellectuelle ou morale.

Les hommes sont trop portés, parce qu'ils sont hommes, parce que leur existence est la seule chose qui ait pour eux une importance absolue, à se former des plans de l'univers, comme si l'univers était fait pour l'homme seul; s'il était peint par un des artistes du soleil l'homme ne représenterait pas dans

la création un objet aussi proéminent que lorsqu'il se représente lui-même avec son propre pinceau.

La lumière dans la théorie qu'on a appelée la théorie corpusculaire, est considérée comme étant en elle-même une matière ou un fluide spécifique émanant des corps lumineux, et produisant un effet de sensation en frappant la rétine. Cette théorie a fait place à celle des ondulations, généralement adoptée aujourd'hui, qui regarde la lumière comme résultant des ondulations d'un fluide spécifique, auquel on a donné le nom d'éther; et l'on admet que ce fluide hypothétique remplit tout l'univers, et pénètre au travers des pores de tous les corps.

Dans une leçon faite en 1842, alors que j'émettais pour la première fois les vues exposées dans cet essai, je déclarai qu'il me semblait beaucoup plus conforme aux faits d'admettre que la lumière est le résultat des vibrations ou du mouvement des molécules de la matière elle-même, que de l'attribuer aux vibrations d'un éther spécifique qui pénétrerait la matière ; à peu près comme le son est propagé par les vibrations du bois, ou les vagues par l'eau. Je ne prétends pas traiter ici des caractères distinctifs des vibrations de la lumière, du son et de l'eau, qui sont sans aucun doute très-différentes les unes des autres ; j'entends seulement les comparer autant qu'il est nécessaire pour éclairer la propagation de la force par un mouvement produit dans la matière elle-même.

Je ne savais pas, à l'époque où j'ai adopté d'abord cette opinion et où je l'ai exposée dans mes leçons,

que l'illustre Léonard Euler avait publié une théorie quelque peu semblable, et quoique je l'eusse conçue sans rien savoir de ce qui avait été avancé avant moi, j'aurais hésité à la reproduire, si je n'avais pas trouvé qu'elle avait reçu la sanction d'un mathématicien aussi éminent qu'Euler, dont on ne peut supposer qu'il n'ait pas tenu compte des arguments irrésistibles contre sa théorie, surtout alors qu'il s'agissait d'une matière aussi controversée et aussi discutée que l'était à cette époque la thèse des ondulations de la lumière.

Cette théorie d'Euler a été considérée comme défectueuse par un physicien de grande réputation; mais je n'ai pas pu saisir la force des arguments par lesquels il l'a combattue; en conséquence, pour le présent du moins, mais non sans quelque défiance, je crois pouvoir la maintenir. Le fait lui-même de la corrélation entre les différents modes de force est pour mon esprit un argument très-puissant en faveur de la théorie qui voit en eux des affections de la matière ordinaire; et quoique l'électricité, le magnétisme et la chaleur puissent être considérés comme produits par les ondulations du même éther que l'on suppose donner naissance à la lumière, cependant cette hypothèse présente de plus grandes difficultés lorsqu'il s'agit des autres modes de force que lorsqu'il s'agit de la lumière. J'ai déjà fait allusion à quelques-unes de ces difficultés en traitant de l'électricité; ainsi la conductibilité et la non-conductibilité ne sont pas expliquées par elle;

la transmission de l'électricité au travers de longs fils de préférence à l'air qui l'entoure, et qui devrait être au moins autant pénétré par l'éther, est irréconciliable avec cette hypothèse. Les phénomènes manifestés par ces forces fournissent, je le crois du moins, autant que les phénomènes de la lumière, une manifestation évidente de la matière ordinaire agissant de particule à particule, et n'exerçant aucune action à distance. J'ai déjà cité les recherches de M. Faraday sur l'induction électrique ; en nous montrant que cette induction est une action entre particules contiguës, elles plaident fortement en faveur de cette opinion ; plusieurs des expériences que j'ai faites sur l'arc voltaïque, et j'ai déjà fait mention de quelques-unes dans cet essai, les confirment au moins dans mon jugement.

Si l'on admet que l'un des agents appelés impondérables est un mode de mouvement, le fait, qu'il est apte à produire les autres, et peut être produit par eux, rend très-difficile à concevoir que quelques-uns soient des mouvements moléculaires de la matière ordinaire, tandis que les autres seraient des fluides ou le résultat des ondulations d'un éther. A la principale objection du docteur Young, que tous les corps devraient posséder les propriétés du phosphore solaire si la lumière consistait dans les vibrations de la matière ordinaire ; on peut répondre que tant de corps jouissent de cette propriété, et avec une si grande variation dans sa durée, qu'il ne conste pas que toutes ne l'aient point, quoique pour

un temps si court que l'œil ne puisse pas apprécier sa durée. Le fait de la phosphorescence par insolation d'un grand nombre de corps, est en lui-même une preuve que la matière dont ces corps sont composés est amenée à un état de vibration, ou tout au moins moléculairement modifiée par l'action de la lumière; et ce fait est un argument à l'appui de l'opinion que l'on a voulu combattre par cette objection. Le docteur Young admet que les phénomènes du phosphore solaire semblent ressembler grandement aux sons sympathiques des instruments de musique, qui sont mis en vibration par d'autres sons qui leur arrivent à travers l'air; et je ne sache pas qu'il donne une explication satisfaisante de ces effets dans l'hypothèse de l'éther.

Les analogies entre la propagation du son et celle de la lumière sont très-nombreuses : L'un et l'autre se propagent en ligne droite tant qu'ils ne sont pas éteints ou arrêtés; tous deux sont réfléchis de la même manière, les angles d'incidence étant égaux aux angles de réflexion; tous deux sont alternativement amenés par l'interférence à une intensité nulle ou à une intensité quadruple; tous deux sont capables de réfraction dans le passage d'un milieu à un autre de densité différente. La réfraction du son déterminée depuis longtemps théoriquement a été démontrée expérimentalement par M. Sondhauss; ce physicien a construit avec des couches minces de collodion une lentille; il l'a remplie d'acide carbonique, et il a pu ainsi entendre les battements d'une

montre placée à l'un des foyers de la lentille, tandis que son oreille était placée au foyer conjugué; les battements n'étaient plus entendus lorsqu'on déplaçait la montre du point focal, quoiqu'elle demeurât à la même distance de l'oreille.

Les phénomènes de la chaleur, considérés au point de vue de la théorie dynamique, ne peuvent pas être expliqués par le mouvement d'un éther impondérable; ils supposent nécessairement l'action moléculaire de la matière pondérable ordinaire. La doctrine de la propagation par les ondulations de la matière ordinaire est généralement admise par ceux qui défendent la théorie dynamique de la chaleur; or, les analogies entre les phénomènes de la chaleur et de la lumière sont si intimes, que je ne puis comprendre comment une théorie appliquée à l'un de ces agents ne serait pas immédiatement applicable à l'autre. Si la chaleur est transmise, réfléchie, réfractée ou polarisée, et que nous puissions regarder ces phénomènes comme des affections de la matière ordinaire; alors que ces mêmes effets se manifestent pour la lumière, comment prétendrions-nous qu'ils sont produits par un éther impondérable et par cet éther seulement?

Une objection qui se présente immédiatement à l'esprit, relativement à l'hypothèse qui fait de la lumière un éther, est que les corps les plus poreux sont opaques: le liége, le charbon, la pierre ponce, le bois sec et humide; tous les solides très-poreux et très-légers sont opaques. Cette objection n'est pas aussi superficielle qu'elle le semble au pre-

mier aspect. La théorie qui veut que la lumière soit le résultat des ondulations d'un milieu éthéré pénétrant toutes les matières grossières suppose que les distances entre les molécules ou atomes de la matière sont très-grandes. La matière a été comparée par Démocrite et par beaucoup de physiciens modernes au firmament étoilé dans lequel, quoique les monades individuelles soient à des distances immenses les unes des autres, elles n'en ont pas moins, comme agrégat le caractère de l'unité, et sont fermement maintenues par l'attraction dans leurs positions respectives à des distances déterminées. Cela posé, si la matière est constituée par des molécules séparées, alors les corps les plus légers, tous ceux du moins que nous connaissons, étant ceux dans lesquels les molécules sont à de plus grandes distances, ceux dans lesquels les ondulations du milieu qui les pénètre sont le moins empêchées par la résistance des particules disjointes, devraient aussi être les corps les plus transparents.

De plus, si l'analogie du firmament étoilé a quelque valeur, dans ce cas une ondulation ou vague en rapport avec un certain nombre de monades individuelles sera brisée ou fractionnée par leur nombre ; l'aspect de véritable continuité qui résulte, comme dans la voie lactée, du fait que chaque point de la vision est occupé par une monade, prouve qu'après une certaine longueur de parcours, l'onde est interrompue en chacun de ses points par une des monades, de sorte que leur ensemble peut être

considéré à quelques égards comme une couche de matière ordinaire interposée dans l'étendue éthérée.

Donc, même alors que l'on admet qu'un milieu extrêmement élastique remplit les interstices, les masses séparées prises dans leur ensemble devraient exercer une grande influence sur la propagation de l'onde.

Le son, ou les vibrations de l'air, rencontrant un écran, que l'on peut comparer à une éponge de particules diffuses, serait brisé et dispersé par ces particules; mais si elles sont suffisamment continues pour prendre part aux vibrations et les propager elles-mêmes, le son continuerait sans rien perdre relativement de son intensité.

Pour ce qui concerne cependant les corps liquides et gazeux, il y a de très-grandes difficultés à les considérer comme formés de molécules distantes et séparées. Si, par exemple, nous admettons avec Young que les particules de l'eau sont au moins à la même distance l'une de l'autre que le seraient cent hommes dispersés et également espacés sur la surface de l'Angleterre, la distance entre ces mêmes particules, lorsque l'eau sera réduite en vapeur, deviendra plus de quarante fois plus grande, de sorte que les cent hommes seront réduits à deux; et par une augmentation ultérieure de la température la distance des molécules peut être indéfiniment accrue; si aux effets de la température on ajoute la raréfaction produite par la machine pneumatique, on pourra rendre cette distance plus grande encore, de sorte

que, quelle que soit la distance que nous admettions à l'origine, nous pouvons l'augmenter à un point tel que la distance entre une molécule et la molécule voisine devienne enfin mesurable. Or, quelque loin que l'on porte la raréfaction, par la chaleur et la machine pneumatique, on n'arrive pas à mettre en évidence le plus léger changement dans la continuité apparente de la matière; et j'ai trouvé que les gaz conservent leur caractère particulier, autant du moins que j'en puis juger par leurs effets sur l'étincelle électrique, même alors que leur raréfaction a été poussée aux dernières limites que l'on peut atteindre par l'expérience : ainsi l'étincelle électrique dans le protoxyde d'azote, quoique très-raréfié, présente une teinte cramoisie, et dans l'acide carbonique une teinte verdâtre.

Sans prétendre, néanmoins, entrer dans la question métaphysique de la constitution intime de la matière (ce qui revient à examiner si les physiciens atomistes ou les disciples de Boscovich ont raison), question à laquelle probablement tous les efforts humains ne donneront jamais une réponse satisfaisante; et même en admettant qu'un milieu éthéré, non pas absolument impondérable comme quelques-uns le prétendent, mais d'une ténuité extrême, pénètre toute matière, il n'en sera pas moins vrai que la matière ordinaire ou non éthérée devra exercer une action très-importante sur la transmission de la lumière. Le docteur Young, qui repousse la théorie d'Euler suivant laquelle la lumière serait

transmise par les ondulations de la matière grossière, d'une manière analogue au son, a ensuite été obligé d'appeler à son aide les vibrations de la matière pondérable des milieux réfringents, pour expliquer comment les rayons de diverses couleurs ne sont pas également réfractés, et d'autres difficultés semblables. Un de ses arguments en faveur d'un éther envahissant était : « qu'un milieu ressemblant par plusieurs de ses propriétés à celui qu'on a appelé éther existe, c'est ce qui est prouvé invinciblement par les phénomènes de l'électricité. » Cette manière de raisonner, si je puis oser parler ainsi de ce qui sort de la plume d'un homme aussi éminent, me semble à peine logique; car c'est soutenir une hypothèse par une autre qu'il faudrait prouver à son tour, puisque ses défenseurs les plus intrépides avouent qu'elle est entourée de beaucoup de difficultés.

Le docteur Young, enfin, arrive à cette conclusion que l'hypothèse la plus simple est de considérer le milieu éthéré, pris ensemble avec les atomes matériels de la substance, comme constituant un milieu composé, plus dense que le pur éther, mais non pas plus élastique. L'éther doit ainsi être regardé comme remplissant les fonctions que l'huile remplit dans le papier transparent, donnant de la continuité aux particules de la matière commune, et formant lui-même, dans les espaces intermoléculaires, le milieu qui transmet les ondulations.

Depuis l'époque où Huyghens, Euler, Young, les

pères de la théorie des ondulations, ont appliqué leur grande intelligence à l'étude de cette question, on a vu s'accumuler une masse de données expérimentales tendantes toutes à établir que toutes les fois que la matière qui transmet ou réfléchit la lumière subit un changement dans sa constitution, la lumière elle-même est affectée, et qu'il y a connexion ou parallélisme entre les changements de la matière et les modifications survenues dans la lumière; réciproquement, que la lumière modifie ou change la constitution de la matière et imprime à ses molécules des propriétés caractéristiques nouvelles.

La transparence, l'opacité, la réfraction, la réflexion et les couleurs étaient des phénomènes connus des anciens; mais il ne paraît pas qu'ils aient donné une attention suffisante à l'état moléculaire des corps qui déterminaient ces phénomènes; ainsi, la transparence ou l'opacité d'un corps semble dépendre entièrement de son arrangement moléculaire. S'il y a des stries sur la lentille ou le verre, au travers duquel on regarde les objets, les images sont déformées : augmentez le nombre de ces stries, la déformation sera tellement accrue que les objets deviendront invisibles, et le verre cessera d'être transparent quoique restant translucide; mais altérez complétement la constitution moléculaire, comme par une solidification lente, et il deviendra opaque. Prenons encore pour exemple un liquide et un gaz : une solution de savon est transparente, l'air est transpa-

rent, mais agitez-les ensemble, de manière à former une écume ou mousse, cette mousse, quoique formée de deux corps transparents, sera opaque; et la réflexion de la lumière à la surface de ces corps, ainsi mêlés intimement, sera tout à fait différente de ce qu'elle était avant le mélange; dans un cas, elle donne simplement à l'œil une sensation générale de blancheur, tandis que dans l'autre elle laisse voir les images des objets avec leurs formes et leurs couleurs propres.

Pour prendre un exemple moins grossier : l'azote est parfaitement incolore, l'oxygène est parfaitement incolore; mais unis chimiquement dans certaines proportions, ils forment de l'acide nitreux, gaz d'une couleur brun-orange foncée. Je ne sais pas comment la couleur de ce gaz, ou des gaz semblables, le chlore ou la vapeur d'iode, pourrait être expliquée dans l'hypothèse de l'éther, sans avoir recours à des modifications moléculaires dans la substance de ces gaz.

La couleur, dans plusieurs cas, dépend de l'épaisseur de la plaque ou de la couche de la matière transparente sur laquelle la lumière tombe, comme dans tous les phénomènes qu'on a désignés sous le nom de couleurs de lames minces, et dont les bulles de savon nous fournissent un bel exemple.

Si nous arrivons aux découvertes plus récentes de la double réfraction et de la polarisation, nous trouverons que les effets de la lumière dessinent en quelque sorte la structure intime de la matière

qu'elle affecte ; et que la forme cristalline d'un corps peut être déterminée par les effets qu'un petit fragment de ce corps exerce sur un rayon de lumière.

Plaçons une lame de bon verre ordinaire dans ce qu'on appelle un polarimètre, ou instrument dans lequel la lumière polarisée est transmise au travers des substances à examiner, et vient à sa sortie traverser une autre substance capable aussi de la polariser, et qu'on appelle un analyseur ; on n'observera aucun effet. Enlevez ce verre, chauffez-le et refroidissez-le subitement ou rapidement, pour l'amener à la condition de verre trempé, condition dans laquelle ses molécules sont à un état de tension ou de contrainte ; en le replaçant dans le polariscope, vous verrez apparaître une belle série de couleurs. Au lieu de soumettre ce verre à l'action de la chaleur ou d'un refroidissement subit, courbez-le ou bandez-le par une pression mécanique, les couleurs seront également visibles ; elles seront modifiées suivant la direction de la flexion, et indiqueront par leurs courbes les lignes où l'état moléculaire a été changé. Ainsi, quand on étend de la colle-forte épaisse, et qu'on la fait refroidir dans un état de tension forcée, elle réfracte doublement la lumière, et l'on voit apparaître des couleurs comme dans le cas du verre.

Soumettez une série de cristaux au même examen ; vous verrez se former dans les différents cristaux différentes figures en relation constante et déterminée avec la structure particulière du cristal

examiné, et avec les directions suivant lesquelles, par rapport à la forme cristalline, les rayons traversent le cristal.

Dans les sels cristallisés de l'acide paratartrique, M. Pasteur a signalé deux séries de cristaux, qui sont hémiédriques dans des directions opposées; c'est-à-dire que les cristaux d'une série sont à ceux de l'autre série ce que l'image, vue dans un miroir, est à l'objet; en préparant des solutions séparées de chacune de ces classes de cristaux, il a trouvé que la solution de l'une des classes fait tourner le plan de polarisation vers la droite, pendant que celle de l'autre classe le fait tourner vers la gauche ; et qu'un mélange en proportions égales des deux solutions ne fait plus dévier le plan de polarisation. Cependant, ces trois solutions sont ce qu'on appelle isomériques ; c'est-à-dire qu'elles ont, autant qu'on a pu le constater, la même composition chimique.

Dans les cas qui précèdent, et dans d'autres cas innombrables, on voit qu'une altération dans la constitution de la substance transparente modifie le caractère et les propriétés de la lumière transmise. Les phénomènes de la photographie prouvent que la lumière altère la constitution de la matière soumise à son action. Pour ce qui regarde la vision elle-même, la persistance des images sur la rétine de l'œil semble démontrer que sa structure est changée par le choc de la lumière : les impressions lumineuses sont comme marquées sur la rétine, et les souvenirs de la vision sont comme les cicatrices de ces marques.

La science de la photographie a surtout pour objet les substances solides ; il est cependant plusieurs exemples de corps liquides ou gazeux modifiés par l'action de la lumière ; ainsi, l'acide cyanhydrique liquide subit une altération chimique et laisse déposer une matière charbonneuse solide lorsqu'il est soumis à son action. Les gaz chlore et hydrogène, mélangés et conservés dans les ténèbres, ne s'unissent pas, mais ils se combinent rapidement pour former de l'acide chlorhydrique lorsqu'on les expose à la lumière.

Les faits ci-dessus et beaucoup d'autres que l'on pourrait citer, tendent fortement à établir une liaison entre la lumière et le mouvement de la matière ordinaire, et à prouver que plusieurs des impressions par lesquelles nos sens nous avertissent de la présence de la lumière, résultent de changements produits dans la matière elle-même. Si la matière est à l'état solide, ces changements sont plus ou moins permanents ; si elle est à l'état liquide ou gazeux, ils sont passagers dans le plus grand nombre des cas ; à moins qu'il ne se produise quelque changement chimique qui soit comme saisi au passage, et qui se fixe lui-même en donnant naissance à un composé plus stable que le composé ou mélange primitif.

Je fatiguerais mes lecteurs en multipliant les exemples destinés à prouver que, dans tous les cas qui ont été examinés à fond, les effets de la lumière sont modifiés par chaque et par tout change-

ment de structure ; et que la lumière est en connexion définie et intime avec la structure des corps qui sont impressionnés par elle. Si l'on néglige la matière elle-même des corps, et qu'on rapporte tout à l'éther, création purement hypothétique, il faut admettre qu'il change son élasticité toutes les fois que la structure du corps change, il faut admettre qu'il pénètre dans les pores de corps dont la porosité, dans beaucoup de cas, ne nous est nullement prouvée, lesquels pores, en outre, devraient communiquer entre eux d'une manière spéciale et déterminée ; ce sont là autant d'hypothèses invoquées à l'appui d'autres hypothèses.

L'éther est un milieu fort commode et qui se prête merveilleusement aux hypothèses : ainsi, si pour expliquer un phénomène donné, l'hypothèse exige que l'éther soit plus élastique, on le fait plus élastique ; s'il faut qu'il soit plus dense, on le fait plus dense ; s'il avait besoin d'être moins élastique, moins dense, on le ferait moins élastique, moins dense ; et ainsi de suite.

Les partisans de l'hypothèse éthérée ont certainement cet avantage que l'éther étant un fluide hypothétique, on peut changer ou modifier à son gré ses caractères sans qu'il soit possible aux adversaires de prouver la non-réalité de son existence et de ses modifications.

Une objection formidable que l'on peut faire contre l'opinion que je défends, est la nécessité d'admettre une sorte de plein universel ; car si la

lumière, la chaleur, l'électricité, etc., sont des affections de la matière ordinaire, il faudra supposer que la matière est partout où ces phénomènes se manifestent, et que, par conséquent, il n'y a pas de vide. Ces forces sont transmises à travers ce qu'on appelle les espaces vides, ou à travers les espaces interplanétaires, dans lesquels la matière, si elle y existe, ne peut être que dans un état de raréfaction extrême.

On peut affirmer avec sûreté que toutes les tentatives faites jusqu'ici pour procurer un vide parfait ont échoué. La machine pneumatique ordinaire nous donne seulement de l'air très-raréfié; et par le principe de sa construction, en la supposant aussi parfaite que possible, son action épuisante dépend de l'expansion indéfinie de l'air dans le récipient; même au sein du vide obtenu par elle, la tendance de la matière à remplir l'espace est si grande, que j'ai vu de l'eau distillée contenue dans un vase placé au sein du récipient épuisé d'une bonne machine pneumatique, prendre un goût de suif, provenant de la graisse ou d'une huile essentielle contenue dans la graisse dont on se servait pour empêcher que l'air ne pénétrât au travers de la jointure des bords du récipient et du plateau de la machine.

Le vide de Torricelli, ou celui du baromètre ordinaire, est plein de vapeurs de mercure; mais il y aurait un certain intérêt à rechercher ce que serait l'effet d'un vide parfait de Torricelli, obtenu par la congélation du mercure. C'est à quoi l'on parviendrait

maintenant sans beaucoup de difficultés, au moyen d'un mélange d'acide carbonique solide et d'éther; le seul obstacle que l'on rencontrerait, serait probablement occasionné par la différence de contraction entre le mercure et le verre, différence très-grande à un si grand froid; et plus particulièrement par la contraction du mercure au moment de sa solidification. Davy, cependant, a essayé d'obtenir le vide parfait d'une manière à peu près semblable, au-dessus d'étain fondu; mais il n'a réussi qu'en partie; il a encore fait d'autres essais pour produire un vide absolu; son principal but, dans ses expériences, était d'arriver à découvrir les effets que produirait l'électricité dans un espace absolument vide. Il reconnaît qu'il n'a pas réussi à se procurer ce vide; mais il a constaté que l'électricité est beaucoup moins facilement conduite ou transmise par le meilleur des vides qu'il ait obtenu, que par le vide ordinaire de Boyle.

Morgan n'a trouvé aucune transmission de l'électricité dans un bon vide de Torricelli; et quoique Davy n'ait pas beaucoup de confiance dans les expériences de Morgan, elles sont cependant, sous un certain point, beaucoup moins susceptibles d'erreur que celles de Davy. Morgan, dont les expériences semblent avoir été conduites avec le plus grand soin, opérait avec l'électricité d'induction sur des tubes de verre hermétiquement fermés par la fusion du verre, tandis que Davy scellait un fil de platine à l'extrémité du tube dans lequel il voulait pro-

duire le vide. J'ai vu dans de nombreuses expériences que j'ai faites pour purger l'eau de tout air, que les fils de platine, scellés dans le verre avec le plus grand soin, permettaient au liquide de suinter entre eux et le verre ; et c'est une grande raison de croire que les gaz peuvent également passer dans les mêmes interstices, quoiqu'en quantité si excessivement petite, qu'il faudrait un long temps pour découvrir leur présence par les réactifs ordinaires. Davy supposait que les particules des corps pouvaient se détacher et produire ainsi des effets électriques dans le vide ; or, ces effets se produiraient beaucoup plus facilement dans ses expériences, puisqu'un fil de platine pénétrait au sein de l'espace vide, que dans les expériences de Morgan, où l'électricité induite était diffusée sur la surface du verre. L'odeur qu'émettent plusieurs métaux, le fer, l'étain et le zinc, et les rayonnements appelés thermographiques, peuvent difficilement s'expliquer autrement que par l'évaporation d'une portion infiniment petite du métal lui-même.

La tendance de la matière à se diffuser dans l'espace est si grande, qu'elle a donné lieu au vieil adage que la nature a horreur du vide; cet aphorisme, sur lequel on a tant pointillé et que la suffisance des physiciens modernes a tant ridiculisé, renferme sous un énoncé net, quoiqu'un peu métaphorique dans la forme, une vérité très-profonde ; il prouve que ceux qui ont les premiers généralisé dans cet axiome les faits dont ils avaient eu

connaissance, avaient poussé l'observation bien loin, dépourvus qu'ils étaient des moyens d'investigation que nous possédons.

On a objecté que si la matière était capable d'une divisibilité infinie, l'atmosphère de la terre n'aurait pas de limites ; que, par conséquent, des portions de cette atmosphère existeraient encore en des points de l'espace où les attractions du soleil et des planètes sont plus grandes que l'attraction de la terre, et d'où elles s'échapperaient pour aller former une nouvelle atmosphère autour des corps dont l'attraction est prépondérante. Or, la question de la prolongation indéfinie de l'atmosphère terrestre a été résolue par la négative dans le mémoire où Wollaston, partant du fait observé de l'absence d'une réfraction sensible près des bords du soleil et de la planète Jupiter, s'est cru autorisé à conclure que l'expansion de l'atmosphère terrestre a des limites ; qu'elle se trouve balancée en un certain point par la pesanteur. Le docteur Whewell a démontré que cette déduction de Wollaston n'est pas concluante ; le docteur Wilson l'a aussi combattue par d'autres raisons. Il est un point auquel on n'a point fait attention dans ces mémoires, et dont Wollaston semble n'avoir pas tenu compte ; c'est que rien ne prouve que les disques apparents du soleil et de Jupiter soient les disques réels de ces corps. Sir W. Herschel regarde les bords des disques visibles comme ceux de nuages ou d'une atmosphère particulière ; et l'aspect si rapidement changeant des sur-

aces apparentes de ces astres, rend cette conclusion presque nécessaire. S'il en est ainsi, la réfraction d'une étoile occultée ne peut pas être constatée, au moins dans les portions les plus denses de l'atmosphère.

Les observations de Sir W. Herschel tendent à prouver que le soleil et Jupiter ont des atmosphères assez denses, tandis que celles de Wollaston semblaient prouver que ces astres n'ont pas d'atmosphères appréciables.

Si l'on admet ou si l'on considère comme prouvé que le soleil et les planètes ont des atmosphères, et il reste à peine quelque doute sur ce point, les fondements qui servent de base aux raisonnements de Wollaston s'écroulent; et il semble qu'il n'y ait aucune raison de ne pas admettre que les atmosphères des différentes planètes sont les unes par rapport aux autres dans un état d'équilibre. L'éther, ou la matière grandement raréfiée qui remplit les espaces interplanétaires, serait une expansion de toutes ces atmosphères, ou de quelques-unes, ou de leurs éléments les plus volatils, et fournirait ainsi la matière nécessaire à la transmission des modes de mouvement que nous désignons sous les noms de lumière, chaleur, etc.; et il n'est pas impossible, enfin, que des portions ténues de ces atmosphères, par des changements graduels, passent d'une planète à l'autre, formant un lien de communication matérielle entre les monades distantes de l'univers.

Les vues que nous venons d'exposer rapprochent la théorie de la transmission de la lumière par les ondulations de la matière ordinaire des deux autres théories qui supposent également la non-existence du vide; car, suivant la théorie de l'émission ou la théorie corpusculaire, le vide est rempli par la matière elle-même de la lumière, de la chaleur, etc.; tandis que, dans la théorie éthérée, il est rempli par l'éther qui pénètre tout.

Nous avons quelque preuve de l'existence de la matière au sein des espaces interplanétaires dans la diminution de la période de révolution des comètes; et alors qu'en raison de son extrême raréfaction, le caractère du milieu par lequel les forces sont transmises ne peut pas être mis en évidence, le terme éther est un nom générique très-propre à désigner ce milieu.

On trouve dans Newton quelques curieux passages sur la matière de la lumière. Dans ses *Queries to the optics*, questions relatives à l'optique, il dit: « Les corps grossiers et la lumière ne sont-ils pas convertibles l'un dans l'autre; et ne se peut-il pas que les corps empruntent beaucoup de leur activité aux particules de la lumière qui entrent dans leur composition?

...... « La transformation des corps en lumière, et de la lumière en corps est tout à fait conforme au cours de la nature qui semble prendre plaisir à ces transmutations. L'eau, qui est un sel fluide et insipide, se change par la chaleur en vapeur,

laquelle est une sorte d'air, et par le froid en glace, laquelle est une pierre dure translucide, cassante, fusible, et cette pierre retourne en eau par la chaleur, comme la vapeur retourne en eau par le froid. ..... « Et parmi tant de transmutations diverses et étranges, pourquoi la nature ne changerait-elle pas les corps en lumière, et la lumière en corps ? »

Newton avait ici probablement en vue la théorie émissive de la lumière; mais ces passages peuvent s'appliquer à toute autre théorie; l'analogie qu'il voit entre le changement d'état de la matière, comme la glace, l'eau et la vapeur, et le changement hypothétique de la matière en lumière, est vraiment frappante, et semble prouver qu'il regardait le changement ou la transmutation dont il parle comme analogue aux changements connus d'état ou de consistance de la matière ordinaire.

La différence entre l'opinion que je défends, et celle de la théorie éthérée telle qu'elle est généralement énoncée, est que la matière qui dans les espaces interplanétaires sert de moyen de transmission par ses ondulations à la lumière et à la chaleur, est considérée par moi comme possédant les qualités de la matière ordinaire, ou comme on l'appelle ordinairement de la matière grossière, et particulièrement le poids; quoique, à cause de sa raréfaction extrême, elle ne puisse manifester ces propriétés que dans un degré indéfiniment petit; au contraire à la surface de la terre, cette matière obtient un degré de densité que nous pouvons mesurer par nos

moyens d'expérimentation, et la matière est elle-même en grande partie, le conducteur des ondulations qui constituent ces divers agents. Dans plusieurs des formes qu'elle prend, la matière est sans aucun doute poreuse, et pénétrée par plusieurs essences volatiles, qui peuvent différer autant de nature que les diverses matières actuelles; il en résulte dans ce cas un milieu composé, semblable à celui indiqué par le docteur Young; mais même dans cette supposition, la matière la plus dense est probablement celle qui exerce l'influence la plus grande dans les ondulations. Revenons à l'hypothèse quelque peu forcée qui veut que les particules de la matière dense dans ce qu'on appelle un solide, soient aussi distantes que les étoiles dans le firmament; il n'en faudra pas moins admettre qu'une certaine profondeur ou épaisseur d'un semblable solide présentera en chaque point de l'espace une particule qui sera comme un obstacle ou un brisant opposé au mouvement progressif de l'onde, et que ces particules pour propager le mouvement, devront elles-mêmes vibrer à son unisson.

En résumé, notre hypothèse, d'une part, exige que partout où il existe de la lumière, de la chaleur, etc., il existe de la matière ordinaire, quoiqu'elle puisse être tellement raréfiée, que nous ne puissions reconnaître sa présence par l'épreuve des autres forces comme la pesanteur, et qu'il faille admettre qu'on ne puisse assigner aucunes limites à son expansibilité. D'autre part, dans l'hypothèse

opposée il faut admettre une matière spécifique sans pesanteur, dont l'existence n'est acquise que par les phénomènes dont l'explication suppose cette même existence. Pour expliquer les phénomènes, on invoque l'éther, et pour prouver l'existence de l'éther on invoque les phénomènes. Pour ces raisons et pour les autres que j'ai déjà données je pense que l'hypothèse de l'universalité de la matière ordinaire est la moins gratuite.

Ουδεν τι του παντος κενον πελει ουδε περισσον.

MAGNÉTISME.

Le MAGNÉTISME, ainsi qu'il a été prouvé par les importantes découvertes de M. Faraday, fait naître de l'*électricité*, mais avec cette particularité, que le magnétisme est une force statique, et que pour lui faire produire un effet dynamique, il faut lui ajouter le mouvement; elle est de fait directive, et non motrice, changeant la direction des autres forces, mais à parler strictement, ne leur donnant pas l'impulsion initiale. Il est difficile de se former une idée nette de la force magnétique, et de son mode d'action sur les autres forces. La comparaison suivante peut donner une idée vague de ce qu'on nomme polarité magnétique. Supposons un certain nombre de girouettes ayant toutes la forme d'une flèche, concevons que les pivots sur lesquels elles tournent soient disposés en ligne droite, et que leurs orientations soient d'abord différentes; le vent qui viendra à souffler d'un point unique de l'espace et avec une vitesse uniforme, amènera toutes ces girouettes dans une seule et même direction; les pointes des flèches ou

les portions étroites regarderont toutes le même côté du ciel; les queues d'aronde ou les portions larges regarderont le côté opposé : si elles sont suspendues délicatement sur leurs pivots, une brise légère les disposera ainsi parallèlement; une autre brise légère les fera dévier parallèlement encore dans sa nouvelle direction; si le vent vient à cesser, et qu'elles aient été primitivement sous l'influence d'autres forces, de la pesanteur, par exemple, et d'un mode différent de suspension, elles reprendront leurs positions irrégulières, en donnant naissance elles-mêmes dans leur retour à un petit vent léger. Cet état primitif des girouettes orientées dans des directions différentes représente l'état des molécules du fer doux; avant toute influence électrique, l'électricité qui vient agir sur elles non pas en ligne droite comme le vent, mais dans une direction déterminée, leur fait prendre un arrangement polaire, qu'elles perdront lorsqu'on éloignera la force dynamique qui produisait l'induction.

Supposons maintenant qu'au lieu de tourner avec facilité, les girouettes frottent sur leurs pivots de manière à ne pouvoir que difficilement changer de direction; il faudra, pour les mouvoir et les disposer parallèlement, un vent beaucoup plus fort; mais aussi, une fois dirigées, elles conserveront leur position; alors même qu'une brise légère viendrait à souffler dans une autre direction, elles resteront immobiles, et ce sera au contraire la brise qui sera elle-même légèrement déviée. Si nous nous

plaçons dans des conditions intermédiaires de stabilité pour les girouettes, de force pour le vent, les girouettes et le vent seront à la fois légèrement déviés de leur direction primitive; s'il n'y a pas de vent, et que ce soient les axes des girouettes que l'on entraîne dans une certaine direction en les maintenant sur une même ligne droite, le déplacement de ces axes donnera lui-même naissance à une brise ou vent. C'est ce qui arrive aux molécules du fer trempé ou de l'acier des aimants permanents. Ils ne peuvent être polarisés qu'avec une extrême difficulté; et quand ils sont polarisés, un faible courant d'électricité ne les affecte plus. En outre, si l'on fait mouvoir les aimants, ils feront naître eux-mêmes un courant d'électricité; enfin la polarité magnétique et le courant électrique seront tous deux modifiés par leur influence mutuelle, s'ils sont dans une condition intermédiaire de stabilité et de mouvement.

La comparaison qui précède ne doit être considérée que comme propre à donner une idée approximative des phénomènes. Je n'ai nullement eu l'intention de m'en servir pour établir une analogie plus étroite que celle qu'on doit attendre d'une représentation mécanique. Il est difficile de donner à l'aide des mots une idée bien définie du caractère de dualité et d'antithèse de la force désignée sous le nom de polarité. La comparaison à laquelle j'ai eu recours, aidera quelque peu, je l'espère, à éclairer la manière dont le magnétisme agit sur les autres

forces dynamiques; c'est-à-dire en leur imprimant une direction déterminée, mais sans les faire naître initialement, à moins qu'il ne soit lui-même en mouvement.

Les aimants mis en mouvement dans la direction de la ligne qui unit leurs pôles font naître dans les corps du voisinage qui sont conducteurs de l'électricité, des courants dont la direction est perpendiculaire à la ligne suivant laquelle les aimants se meuvent; si l'on change la direction de ce mouvement, ou qu'on renverse les pôles des aimants, le courant électrique circulera lui-même en sens contraire. De même, si l'aimant reste fixe, mais que les corps conducteurs se meuvent à travers les lignes de force magnétique, c'est-à-dire, les lignes suivant la direction desquelles l'action mutuelle des pôles de l'aimant disposerait de petites particules de fer, des courants électriques se développeront au sein de ces corps conducteurs, dans des directions qui dépendront de la direction du déplacement de la substance conductrice relativement aux pôles de l'aimant. Ainsi, de même que les corps parcourus par les courants électriques sont mis en mouvement dans des directions déterminées par l'action d'un aimant à proximité d'eux, de même, réciproquement, au sein des corps mis en mouvement dans le voisinage d'un aimant il se développe des courants d'électricité. Le magnétisme dès lors, peut, par l'intermédiaire de l'électricité, produire la *chaleur,* la *lumière,* et *l'affinité chimique*. Il peut produire

directement le *mouvement* dans les conditions posées ci-dessus; c'est-à-dire, qu'un aimant mis lui-même en mouvement, fera mouvoir les autres substances ferrugineuses; celles-ci sous l'influence de l'aimant arriveront à un état d'équilibre stable, et se mouvront de nouveau si l'aimant vient encore à se mouvoir. C'est seulement par le mouvement imprimé ou arrêté que les phénomènes du magnétisme ont pu être connus de nous. Un aimant, quoique puissant, aurait pu rester non remarqué ou inconnu, s'il n'était pas arrivé qu'on le mît en mouvement dans le voisinage du fer, ou qu'on mît du fer en mouvement dans son voisinage, de manière à les amener l'un et l'autre dans leur sphère d'attraction mutuelle.

En outre des substances magnétiques proprement dites, ou des substances parcourues par des courants électriques, tous les corps se meuvent lorsqu'on les place dans le voisinage d'un aimant puissant; quelques-uns prennent la position axiale, ou se placent dans la direction de la ligne qui unit les deux pôles de l'aimant; d'autres se placent équatorialement, ou dans une direction perpendiculaire à la ligne des pôles; les premiers étant comme attirés, les seconds comme repoussés par les pôles de l'aimant. Ces effets, dans l'opinion de M. Faraday, mettent en évidence une différence générique, ou essentielle entre les deux classes de corps, les corps magnétiques et les corps diamagnétiques; suivant d'autres auteurs cette différence n'est pas essentielle, mais

seulement relative ; suivant eux, la substance moins magnétique serait forcée de prendre la position transversale, en raison de la magnétisation du milieu plus magnétique qui les entoure.

Dans la manière de voir que je viens d'exposer, le magnétisme peut être produit par les autres forces, de même que les girouettes invoquées comme exemple peuvent être déviées dans une direction déterminée ; mais le magnétisme ne peut produire les autres forces qu'autant qu'il est en mouvement ; le mouvement, par conséquent, doit être regardé, dans ce cas, comme la force initiale ou primitive. Le magnétisme, cependant, affecte directement les autres forces, la lumière, la chaleur, l'affinité chimique, en changeant leur direction, leur mode d'action, ou tout au moins, il affecte de telle sorte la matière soumise à l'influence de ces autres forces, que leur direction ou leur mode d'action sont changés. Depuis que j'ai donné ces leçons, M. Faraday a découvert un effet remarquable de la force magnétique sur un rayon de lumière polarisée.

Si l'on fait passer un rayon de lumière polarisée à travers l'eau, ou à travers un milieu transparent quelconque, liquide ou solide, qui ne change pas ou qui ne fasse pas tourner son plan de polarisation ; et qu'on soumette ce milieu, la colonne d'eau par exemple, au travers de laquelle passe le rayon, à l'action d'un aimant puissant, placé de telle sorte, que la ligne de force magnétique, ou la ligne qui unit les pôles de l'aimant soit parallèle à la direction du

rayon polarisé, l'eau, acquiert, relativement à la lumière, des propriétés semblables, sinon tout à fait identiques à celles de l'essence de térébenthine; c'est-à-dire qu'elle fait tourner le plan de polarisation du rayon, et le fait tourner tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant sa direction par rapport à la force magnétique : Ainsi, si nous supposons que le rayon polarisé va d'abord du pôle nord de l'aimant au pôle sud, alors entre le pôle nord et le pôle sud, le plan de polarisation sera infléchi ou tournera vers la droite; tandis que s'il va du pôle sud au pôle nord, entre le pôle sud et le pôle nord il sera infléchi, ou tournera vers la gauche : si la substance à travers laquelle le rayon est transmis, est capable d'elle-même d'infléchir ou de faire tourner le plan de polarisation, si c'est, par exemple, de l'essence de térébenthine, alors l'influence magnétique aura pour effet d'augmenter ou de diminuer cette rotation suivant le sens de propagation du rayon; on observe un effet semblable avec la chaleur polarisée, lorsque le milieu à travers lequel elle est transmise est soumis à l'influence magnétique.

Cet effet du magnétisme est-il rigoureusement et à proprement parler un effet exercé sur la lumière et sur la chaleur elles-mêmes; ou n'est-il que le résultat d'un changement moléculaire dans la matière qui transmet la chaleur et la lumière? C'est une question dont il faut attendre la solution de l'avenir; la réponse qu'on pourrait faire actuellement dépendrait de la théorie que l'on adopte : si

l'on adopte ma manière de voir sur la chaleur et la lumière, on peut alors affirmer nettement que le magnétisme dans ces expériences affecte directement les autres forces; car la lumière et la chaleur étant dans mon opinion des mouvements de la matière ordinaire, le magnétisme en affectant ces mouvements affecte en même temps les forces qui les constituent. Si cependant on reste fidèle aux autres systèmes, il sera plus conforme aux faits de considérer ces résultats comme mettant en évidence une action exercée sur la matière elle-même; la lumière et la chaleur ne seraient alors affectées que secondairement ou médiatement.

Si pendant qu'une substance *subit* un changement chimique on approche d'elle un aimant, la direction ou la ligne suivant laquelle agit la force chimique sera changée. Il est plusieurs expériences déjà vieilles qui probablement devaient s'expliquer par cette influence; mais on les avait mal interprétées, en les considérant comme prouvant que le magnétisme permanent peut produire ou augmenter les actions chimiques; MM. Hunt et Wartmann les ont étendues récemment, et elles sont aujourd'hui mieux comprises.

Les cas que nous venons d'énumérer rentrent dans l'objet du présent essai, en ce sens qu'ils démontrent l'existence des relations entre le magnétisme et les autres forces, relations qui, suivant toute probabilité, sont réciproques; mais il faut bien reconnaître que dans ces mêmes cas il y a non pas

production de lumière, de chaleur, d'affinité chimique par le magnétisme, mais seulement un changement dans la direction de ces agents ou dans leur mode d'action.

Il est cependant quelque chose que l'on peut considérer comme étant une condition dynamique du magnétisme ; c'est la condition dans laquelle il se trouve entre le commencement et la terminaison, ou pendant l'accroissement et le décroissement de son développement.

Pendant le temps que le fer ou l'acier mettent à devenir magnétiques, pendant qu'ils passent de l'état de non-magnétisme au maximum de leur état magnétique, ou qu'ils reviennent du maximum à zéro, ils manifestent une force dynamique ; leurs molécules sont, on peut du moins l'admettre, en mouvement. Dans cet état, ils peuvent produire des effets semblables à ceux que produit un aimant en mouvement.

Une expérience que j'ai publiée en 1845 est très-propre je le pense à éclairer cette matière, et à mettre en évidence jusqu'à un certain point le caractère du mouvement imprimé aux molécules d'un métal magnétique pendant la période de l'aimantation. On remplit un tube d'un liquide au sein duquel nage de l'oxyde magnétique de fer précipité sous forme de poudre très-fine, on ferme le tube à ses deux extrémités par des plaques de verre, et on l'entoure d'une hélice de fil de cuivre revêtu d'une substance isolante. Pour le spectateur qui regarde à travers le

tube, toutes les fois que le fil est traversé par le courant, il y a accroissement instantané de lumière; et lorsque le courant électrique cesse, l'intensité de la lumière transmise est affaiblie, ce qui prouve que sous l'influence magnétique les molécules très-menues de l'oxyde magnétique prennent un arrangement symétrique.

Il importe d'avoir présent à l'esprit dans cette expérience que les molécules d'oxyde de fer n'ont pas été façonnées par la main de l'homme, comme ce serait le cas pour de la limaille de fer, ou pour d'autres petites particules de matière magnétique, mais que cet oxyde de fer ayant été précipité chimiquement, ses molécules ont la forme que leur a donnée la nature.

Pendant que le magnétisme est dans les conditions de changement ou de variation décrites ci-dessus, il peut produire les autres forces; mais on pourrait objecter peut-être que pendant que le magnétisme est ainsi en progrès, d'autres forces agissent sur lui, et qu'on ne peut pas par conséquent lui attribuer l'efficacité initiale; cela est vrai, mais on peut dire la même chose de toutes les autres forces, elles n'ont pas de commencement que nous puissions assigner. Nous devons toujours revenir sur nos pas et les rapporter à quelque force antécédente égale en intensité à la force subséquente; et par conséquent le mot *initiation*, cause initiale ou primitive, ne peut pas être employé dans sa signification rigoureuse; on ne peut le prendre que comme signifiant la force que

l'on a choisie pour la première ou pour point de départ ; c'est une autre raison en faveur de ce que nous avons dit que l'idée de causalité absolue ne saurait être appliquée à la production d'effets physiques. Je reviendrai encore sur ce point capital.

L'électricité peut être ainsi produite ou engendrée directement, soit lorsque l'aimant en masse est mis en mouvement, soit lorsque son magnétisme est commençant, croissant, décroissant, cessant; la chaleur aussi peut être produite directement d'une manière semblable par le magnétisme. Depuis la publication de la première édition de cet essai, j'ai communiqué à la Société royale un mémoire, dans lequel je crois avoir démontré d'une manière satisfaisante que toutes les fois qu'un métal susceptible d'aimantation est aimanté ou désaimanté, sa température s'élève; je l'ai prouvé, d'abord en soumettant une barre de fer, de nickel ou de cobalt à l'influence d'un électro-aimant puissant que l'on aimantait ou que l'on désaimantait rapidement; comme cet électro-aimant était maintenu froid, placé qu'il était dans une citerne d'eau sans cesse renouvelée, on ne pouvait pas attribuer l'élévation de température du métal magnétique soumis à l'influence de l'électro-aimant et devenu plus chaud que lui, à de la chaleur venue de l'électro-aimant par conduction ou par rayonnement; j'ai prouvé le même fait en second lieu, en faisant tourner un aimant permanent en acier avec ses pôles placés en face d'une barre de fer, et mesurant l'é-

lévation de température produite au moyen d'une pile thermo-électrique située du côté opposé à l'électro-aimant.

Le docteur Maggi avait recouvert une plaque de fer doux homogène d'une couche mince de cire mêlée d'huile, et faisait traverser le centre de la plaque par un tube par lequel arrivait de la vapeur d'eau bouillante. Il installait la plaque au repos sur les pôles d'un électro-aimant, en ayant soin de l'en séparer par une feuille de carton. Or, lorsque le fer n'était pas aimanté, la cire fondue prenait une forme circulaire, le tube occupant le centre du cercle; mais lorsque l'électro-aimant était rendu actif, la courbe formée par les limites de la fusion de la cire changeait de forme et s'allongeait dans une direction perpendiculaire à la ligne qui unissait les pôles, ce qui prouve que le pouvoir conducteur du fer pour la chaleur était modifié par l'aimantation.

Nous avons donc de la chaleur produite par le magnétisme, et la conductibilité pour la chaleur modifiée dans une direction déterminée en rapport avec la force magnétique. Est-il nécessaire d'appeler à notre aide l'éther ou une autre entité, le calorique, pour expliquer ces résultats ? N'est-il pas plus rationnel de regarder ces effets calorifiques comme résultant de changements dans l'arrangement moléculaire de la matière soumise à l'influence magnétique ?

Il est tout à fait probable que le magnétisme dans

son état dynamique, soit lorsque l'aimant est mis en mouvement, soit que l'intensité magnétique varie, peut produire aussi directement l'affinité chimique et la lumière, quoique, jusqu'à présent, on n'ait pas encore prouvé qu'il en soit ainsi; l'effet inverse, aussi, de la production directe du magnétisme par la lumière et la chaleur n'a pas encore été établi expérimentalement.

Je me suis servi pour les contre-distinguer des mots dynamique et statique comme représentant les états différents du magnétisme. Les applications que j'ai faites de ces mots peuvent donner lieu à quelques objections, mais je ne connais pas d'autres expressions qui puissent exprimer aussi bien ma pensée.

La condition statique du magnétisme ressemble à la condition statique des autres forces : comme l'état de tension dans le fléau d'une balance; ou comme l'équilibre de la bouteille de Leyde chargée d'électricité. La vieille définition de la force était ce qui cause un changement dans le mouvement; or cette définition présente des difficultés : dans un cas d'équilibre statique, semblable, par exemple, à celui que nous obtenons entre les deux bras d'une balance, nous acquérons l'idée de force sans aucun mouvement palpable : y a-t-il là véritablement absence de mouvement? On pourrait en douter; car cette absence supposerait, dans le cas mis en avant, une élasticité parfaite, et dans tous les autres cas une stabilité à laquelle généralement la nature se refuse quand nous la suivons pendant un temps

assez long; ce qui prouve, à mon avis, une liaison inséparable entre la matière et le mouvement, et l'impossibilité d'un état parfaitement immobile ou durable. Il en est ainsi du magnétisme : Je ne crois pas qu'un aimant puisse exister dans un état absolument stable, quoique la durée de sa stabilité soit proportionnelle à la résistance qu'il a primitivement opposée à son passage à la condition polaire.

Ce que nous venons de dire, toutefois, ne peut être considéré que comme matière à opinion; nous avons, pour l'appuyer, le fait général que les aimants perdent de leur force avec les années; et le fait plus général encore de l'instabilité, de l'état de fluctuation incessante de la nature entière, qui n'échappe pas à celui qui l'étudie attentivement à des périodes différentes et éloignées : dans beaucoup de cas, cependant, l'action est si lente, que les changements échappent à l'observation des hommes; et jusqu'à ce que cette observation porte sur une période de temps proportionnellement assez grande, la réalité de ces changements ne peut pas être considérée comme démontrée par expérience ou par induction ; force est de l'abandonner à la conviction mentale de ceux qui l'examinent à la lumière des faits déjà connus.

Tous les cas de force statique présentent les mêmes difficultés : ainsi, deux ressorts pressant l'un contre l'autre doivent être dits exerçant une force réelle; et cependant il n'y a là ni mouvement résultant, ni chaleur, ni lumière, etc.

Ainsi lorsqu'un gaz est comprimé par un piston, il y a de la chaleur dégagée au moment de la compression; mais en faisant abstraction de ce premier dégagement, quoique la pression continue, il n'y a plus de chaleur dégagée. Ainsi dans l'équilibre produit par des forces opposées, le mouvement a disparu, ou il n'est plus qu'en puissance, il a été et il peut reparaître de nouveau lorsque les forces seront délivrées de leur état de tension.

De même que pour la chaleur, la lumière, l'électricité, les observations quotidiennement accumulées tendent à montrer que chaque changement survenu dans les phénomènes auxquels on donne ces noms, est accompagné d'un changement soit temporaire, soit permanent dans la matière soumise à leurs influences; de même les expériences récentes sur le magnétisme ont établi une liaison entre les phénomènes magnétiques et les changements moléculaires dans la matière qui leur sert de support.

Ainsi, M. Wertheim a montré que l'élasticité du fer et de l'acier est altérée par l'aimantation; le coefficient d'élasticité diminue temporairement pour le fer, d'une manière permanente pour l'acier. Il a aussi examiné les effets de la torsion sur le fer magnétisé, et il conclut de cette expérience que dans une barre de fer arrivée à l'état d'équilibre magnétique, une torsion passagère diminue l'aimantation, et que la détorsion ou le retour à l'état primitif ramène l'aimantation à son intensité première.

M. Guillemin a observé qu'une barre légèrement courbée par son propre poids se redresse quand on l'aimante.

M. Page et M. Marrion ont découvert qu'il se produit un son lorsque le fer ou l'acier sont rapidement magnétisés ou démagnétisés, et M. Joule a trouvé qu'une barre de fer devient légèrement plus longue par l'aimantation.

En outre, pour ce qui regarde les corps diamagnétiques, M. Matteucci a trouvé que la compression mécanique du verre modifie le pouvoir qu'elle a de faire tourner le plan de polarisation d'un rayon lumineux. Il a entrevu plus tard qu'il y avait un changement produit dans la trempe des morceaux de verre soumis à l'influence d'aimants puissants.

Les mêmes arguments que nous avons fait passer sous les yeux du lecteur quand il s'agissait des autres affections de la matière, pour prouver qu'elles étaient des modes de mouvements moléculaires, sont donc également applicables au magnétisme.

AFFINITÉ CHIMIQUE.

L'AFFINITÉ CHIMIQUE, ou la force par laquelle des corps dissemblables tendent à s'unir et à former des composés de caractères en général différents de ceux de leurs composants, est de tous les modes de force celui dont jusqu'ici l'esprit humain s'est formé l'idée la moins nette. Le mot *affinité* lui-même est mal choisi, sa signification dans cette occasion n'ayant pas d'analogie avec son sens ordinaire; de plus son mode d'action est exprimé par des expressions conventionnelles, aucune théorie dynamique digne d'attention n'ayant encore été adoptée pour l'explication de ses phénomènes. Son action modifie et altère à tel point les caractères de la matière, que les changements qu'elle détermine, contrairement peut-être aux règles de la logique, ont formé comme un genre en opposition avec les autres changements de la matière; nous nous servons ainsi des mots physique et chimique comme ayant une signification antithétique.

La principale distinction entre l'affinité chimique et l'attraction ou cohésion physique, est la différence de caractères entre le composé et les composants. Ce n'est là cependant qu'une ligne vague de démarcation ; dans plusieurs cas que tous classeraient parmi les actions chimiques, le changement de caractère est seulement léger ; dans d'autres, comme dans les effets de neutralisation, la différence de caractère pourrait résulter également de l'attraction physique de substances dissemblables, les caractères antérieurs des corps constituants dépendant eux-mêmes de cette simple attraction ou affinité physique : ainsi un acide est corrosif parce qu'il tend à s'unir avec un autre corps ; quand il s'y est uni, son pouvoir corrosif, c'est-à-dire la tendance à l'union étant satisfaite ou rassasiée, il ne peut plus, si l'on peut parler ainsi, être encore attiré, et il perd nécessairement son pouvoir corrosif. Mais il est d'autres cas où aucun résultat semblable ne peut être prévu *à priori*, comme lorsque l'attraction ou la tendance à la combinaison du composé est plus grande que celle de l'un et l'autre de ses composants ; par exemple, qui pourrait par des raisonnements physiques prévoir qu'une substance semblable à l'acide nitrique résulterait de la combinaison de l'azote et de l'oxygène.

Ce qui probablement nous rapprochera le plus près possible de l'idée que nous devons nous former d'une action chimique, c'est de la considérer (ce qui est vague peut-être) comme une attraction ou un

mouvement moléculaire. L'affinité chimique produit le mouvement de masses finies, par la force qui résulte de son action moléculaire : ainsi les effets de projection de la poudre à canon peuvent être cités comme un exemple familier de mouvement produit par l'action chimique. On peut se demander si, dans ce cas, la force qui détermine le mouvement de la masse est la conversion en force de l'affinité chimique, ou si elle n'est pas plutôt le résultat de la mise en liberté d'autres forces existant auparavant dans un état d'équilibre statique ; mais en tout cas, l'affinité chimique peut, par l'intermédiaire de l'électricité, être directement et quantitativement convertie dans les autres forces. Par l'affinité chimique, aussi, nous pouvons produire directement l'*électricité ;* cette dernière force a été définie par Davy une affinité chimique exercée sur des masses ; elle semble plutôt être une affinité chimique s'exerçant dans une direction déterminée à travers une série ou chaîne de particules ; toutefois, la relation exacte entre l'affinité chimique et l'électricité ne peut être exprimée par aucune définition ; car la dernière, quoique ayant un rapport intime avec la première, existe de fait là où la première n'existe pas, comme dans un fil métallique, lequel, quoique électrisé, ou conduisant l'électricité, n'est cependant pas altéré chimiquement, ou, du moins, n'est pas reconnu comme chimiquement altéré.

Volta, l'antitype de Prométhée, nous a mis le premier en état d'établir un rapport défini entre les

forces de la chimie et l'électricité. Lorsque deux métaux dissemblables en contact sont plongés dans un liquide appartenant à une certaine classe, et capable d'agir chimiquement sur l'un d'entre eux, il se forme ce qu'on nomme un circuit voltaïque; et l'action chimique engendre un mode particulier de force appelé un courant électrique, qui circule du métal au métal, à travers le liquide, et par les points de contact.

Prenons pour exemple de la conversion de la force chimique en force électrique, le fait suivant que j'ai fait connaître il y a quelques années : si de l'or est immergé dans de l'acide chlorhydrique, il ne se produit pas d'action chimique; si l'or est immergé dans l'acide nitrique, il ne se produit pas non plus d'action chimique; mais mêlez les deux acides, et l'or immergé sera chimiquement attaqué ou dissous; c'est-là une action chimique ordinaire, résultat d'une double affinité chimique. Dans l'acide chlorhydrique qui est composé de chlore et d'hydrogène, l'affinité du chlore pour l'or étant moindre que l'affinité du chlore pour l'hydrogène, aucun changement n'a lieu; mais lorsqu'on ajoute de l'acide nitrique, ce dernier contenant une grande quantité d'oxygène dans un état de combinaison faible, l'affinité de l'oxygène pour l'hydrogène s'oppose à celle de l'hydrogène pour le chlore; et alors l'affinité du chlore pour l'or est mise à même d'agir, l'or se combine avec le chlore; et le chlorure d'or demeure en dissolution dans le liquide.

Cela posé, si vous voulez montrer cette force chimique sous forme de force électrique, au lieu de mêler les liquides, placez-les dans des vases ou compartiments séparés, mais de telle sorte qu'ils puissent arriver en contact, ce que l'on peut obtenir en interposant entre eux une matière poreuse, comme la porcelaine dégourdie, l'amiante, etc.; puis faites plonger dans chacun de ces liquides une lame ou un fil d'or : aussi longtemps que les deux lames ou fils d'or demeurent séparés, il ne se produit aucune action chimique ou électrique; mais au moment où on les amène au contact métallique, soit immédiatement, soit en les unissant par un fil conducteur en métal, l'action chimique a lieu, l'or dans l'acide chlorhydrique est dissous; l'action électrique se produit aussi, l'acide nitrique est désoxydé par l'hydrogène transporté, et un courant électrique peut être mis en évidence dans les métaux ou dans le fil métallique qui les unit, par l'interposition d'un galvanomètre ou de tout autre instrument construit dans le but de découvrir de semblables effets.

Il est peu, si même il en est, d'actions chimiques dont on ne puisse démontrer expérimentalement qu'elles produisent de l'électricité : l'oxydation des métaux, l'embrasement des combustibles, la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, etc., peuvent devenir des sources d'électricité. La manière ordinaire dont l'électricité de la pile voltaïque est engendrée, est l'action chimique de l'eau sur le

zinc; cette action est accrue par l'addition à l'eau de certains acides, qui la rendent apte à agir plus puissamment sur le zinc, ou qui dans certains cas agissent eux-mêmes sur lui; et l'une des plus puissantes actions chimiques connues, celle de l'acide nitrique sur les métaux oxydables, est celle qui produit la pile voltaïque la plus puissante; j'ai fait connaître cette disposition dans l'année 1839 : de fait, je puis dire en toute sûreté, que si l'action chimique est utilisée et non perdue, si elle est convertie tout entière en force électrique, plus l'action chimique est puissante, plus est puissante l'action électrique qui en résulte.

Si au lieu d'employer des produits manufacturés ou artificiellement produits, comme le zinc ou les acides, nous pouvions réaliser sous forme d'électricité la quantité de force chimique qui est en activité dans la combustion des matériaux bruts peu chers et abondants, comme le charbon, le bois, la graisse, etc., avec l'air ou l'eau, nous résoudrions un des plus grands desiderata pratiques, et nous aurions à nos ordres une puissance mécanique supérieure dans ses applications à celle que donne la machine à vapeur.

J'ai montré récemment que la flamme du chalumeau ordinaire donne naissance à un courant électrique très-marqué, capable non-seulement d'affecter le galvanomètre, mais de produire la décomposition chimique; on place deux lames ou fils de platine, l'un dans la portion de la flamme très-voisine de

l'origine du jet, aux points où la combustion commence, l'autre en pleine flamme jaune où la combustion est au maximum ; ce dernier doit être maintenu froid pour que le courant thermo-électrique qui est produit par la différence de température entre les plaques de platine, puisse concourir avec le courant de la flamme ; des fils attachés aux lames de platine forment les pointes terminales ou les pôles. Par une série de jets on pourrait obtenir une pile à flammes qui donnerait des effets plus intenses ; mais dans ces expériences, quoique intéressantes théoriquement, on réalise, sous forme électrique, une si petite fraction de la puissance en action dans la combustion, qu'on ne peut pas espérer d'obtenir immédiatement un résultat pratique.

La quantité de courant électrique, en tant que mesurée par la quantité de matière sur laquelle elle agit dans ses différents effets, est proportionnelle à la quantité d'action chimique qui l'engendre ; et son intensité, ou son pouvoir de surmonter la résistance est aussi proportionnelle à l'intensité de l'affinité chimique, si l'on n'emploie qu'un simple couple voltaïque, ou un nombre de couples lorsqu'on se sert de l'appareil bien connu appelé pile voltaïque.

Le mode suivant lequel le courant voltaïque augmente d'intensité par ces additions de couples est lui-même un exemple frappant des relations mutuelles et des analogies dynamiques des différentes forces. Faisons plonger en partie une lame de

zinc ou d'un autre métal doué d'une forte affinité pour l'oxygène, et une seconde lame de platine ou d'un autre métal doué de peu d'affinité ou sans affinité pour l'oxygène, dans un vase A contenant de l'acide nitrique dilué, mais sans que les lames soient en contact l'une avec l'autre; faisons plonger dans un autre vase B contenant aussi de l'acide nitrique dilué les extrémités de deux fils de platine en contact avec chacune des deux lames : en même temps que l'acide dans le vase A est décomposé par l'affinité chimique du zinc pour l'oxygène de l'acide, l'acide est aussi décomposé dans le vase B, l'oxygène apparaissant à l'extrémité du fil en contact avec le platine; ce pouvoir chimique est conduit ou transporté à travers les fils, et, en faisant abstraction de certaines pertes locales, pour chaque unité d'oxygène qui se combine avec le zinc dans un des vases, il se dégage une unité d'oxygène autour du fil de platine dans l'autre. Le fil de platine est ainsi placé dans une condition analogue à celle du zinc; il se trouve doué du pouvoir d'attirer l'oxygène du liquide à sa surface; quoiqu'il ne puisse pas, comme c'est le cas pour le zinc, se combiner avec lui dans ces mêmes circonstances. Si maintenant nous substituons au fil de platine qui est en connexion avec la lame de platine, un fil de zinc, nous aurons, en outre de la tendance au dégagement de l'oxygène communiquée au platine, l'affinité chimique de l'oxygène dans le vase B pour le fil de zinc. Ainsi, nous avons, en plus de la force qui était pro-

duite primitivement par le zinc de la combinaison dans le vase A, une seconde force produite par le zinc dans le vase B, et concourant avec la première. Deux couples de zinc et de platine ainsi unis produisent par conséquent un effet plus intense que celui produit par un seul couple; et si nous continuons à augmenter le nombre de ces successions de zinc, de platine et de liquide, nous obtiendrons une exaltation indéfinie de la puissance chimique ; absolument comme en mécanique nous obtenons des mouvements accélérés en ajoutant des impulsions nouvelles au mouvement déjà engendré.

Les mêmes règles de proportion qui président aux combinaisons chimiques, président aussi aux effets électriques, lorsque ceux-ci sont produits par les actions chimiques. Dalton et d'autres ont prouvé que les éléments constituants d'un très-grand nombre de substances composées sont toujours, l'un par rapport à l'autre, en proportions quantitatives définies; ainsi, l'eau qui consiste dans une partie en poids d'hydrogène unie à huit parties en poids d'oxygène, ne peut pas être formée par les mêmes éléments unis dans d'autres proportions que celle-ci; vous ne pouvez ni rien ajouter ni rien retrancher du rapport normal entre les deux éléments, sans altérer entièrement la nature du composé; de plus si l'un quelconque des éléments est pris pour unité, les proportions de combinaison des autres éléments seront constamment dans un rapport quantitatif invariable,

avec cet élément et avec chacun des autres : ainsi, si l'on prend l'hydrogène pour unité, l'oxygène sera 8, le chlore, 36 ; c'est-à-dire que l'oxygène s'unira avec l'hydrogène dans la proportion de 8 à 1 en poids, tandis que le chlore s'unira à l'hydrogène dans la proportion en poids de 36 à 1, et à l'oxygène, de 36 à 8. Les nombres qui exprimeront les poids suivant lesquels les éléments se combinent, nombres relatifs et non pas absolus, peuvent, après que l'on s'est accordé sur le choix de l'unité, être déterminés pour toutes les substances chimiques; et quand ils ont été ainsi une fois fixés, on verra que les corps en général, au moins pour les composés inorganiques, s'unissent dans ces proportions, ou dans des proportions exprimées par des multiples de ces nombres : ces nombres proportionnels sont appelés *équivalents*.

Cela posé, une pile voltaïque qui consiste ordinairement dans des successions de deux métaux, et un liquide capable d'agir chimiquement sur l'un d'eux, a, comme nous l'avons vu, le pouvoir de produire une action chimique au sein d'un liquide en communication avec elle par des métaux sur lesquels ce liquide est incapable d'agir : dans ce cas les éléments constituants du liquide seront mis en liberté à la surface des métaux immergés, et à distance l'un de l'autre. Par exemple, si les deux pointes terminales en platine d'une pile voltaïque plongent dans l'eau, l'oxygène se dégagera sur l'une, et l'hydrogène sur l'autre de ces pointes, exactement

dans les proportions suivant lesquelles ils s'unissent pour former l'eau ; tandis que l'examen le plus minutieux ne fera découvrir aucune action sensible dans les couches de liquides interposées. On savait avant M. Faraday que, pendant que cette action chimique s'exerçait au sein du liquide en communication avec la pile, il y avait une autre action chimique s'exerçant au sein des auges de la pile; mais on savait à peine, si même on ne l'ignorait pas entièrement, que la quantité d'action chimique au sein du liquide était dans un rapport constant avec la quantité d'action chimique au sein de la pile; M. Faraday a prouvé que ces deux quantités étaient entre elles dans le rapport direct des équivalents; c'est-à-dire, en supposant la pile formée de zinc, de platine et d'eau, que la quantité d'oxygène qui s'unit avec le zinc dans chaque auge de la pile, est exactement égale à la quantité d'oxygène dégagé sur l'un des fils de platine, tandis que l'hydrogène dégagé sur chaque plaque de platine de la pile est égal à l'hydrogène dégagé sur le second fil terminal.

Supposons la pile chargée avec de l'acide chlorhydrique au lieu d'eau, les pointes terminales restant toujours séparées par de l'eau; alors pour chaque 36 parties en poids de chlore qui s'unissent avec chaque plaque de zinc, 8 parties d'oxygène seront dégagées sur la pointe de platine; c'est-à-dire que les quantités en poids de chlore combiné et d'oxygène dégagé seront précisément dans le même rapport

suivant lequel Dalton a prouvé qu'ils se combinaient chimiquement. Cette loi s'étend à tous les liquides capables d'être décomposés par la force voltaïque, et que pour cette raison on nomme *électrolytes :* et comme aucun effet voltaïque n'est produit par les liquides incapables d'être ainsi décomposés, il en résulte que l'action voltaïque est une action chimique s'exerçant à distance, ou transmise à travers une série ou chaîne de milieux; et que les nombres qui expriment les équivalents chimiques expriment aussi la quantité d'action voltaïque produite par les substances chimiques correspondantes.

Comme la chaleur, la lumière, le magnétisme, ou le mouvement, peuvent être produits par une application convenable de l'électricité, et comme l'électricité est elle-même produite par l'action chimique d'une manière définie, il en résulte que les autres forces sont elles-mêmes produites d'une manière définie, sinon immédiatement, par l'action chimique; qu'il nous soit permis, cependant, comme nous l'avons déjà fait quand il s'agissait des autres forces, de chercher jusqu'à quel point ces autres forces peuvent être engendrées directement par l'affinité chimique.

La *chaleur* est le produit immédiat de l'affinité chimique; je ne connais pas d'exception à cette proposition générale que tous les corps, en se combinant chimiquement, produisent de la chaleur; c'est-à-dire, qu'en ne considérant pas les solutions

comme des actions chimiques, et, même dans ce cas, s'il y a du froid produit dans la combinaison, ce froid est la conséquence d'un changement de consistance ou de cohésion, comme quand il y a passage de l'état solide à l'état liquide, et non le résultat de l'action chimique.

Nous trouvons que la même manière de considérer la dépense de force que nous avons exposée en traitant de la chaleur latente, s'applique également à la dépense de la force chimique, en ce qui concerne la quantité de chaleur, ou de force répulsive qu'elle engendre; l'action chimique étant ici épuisée par la dilatation mécanique, c'est-à-dire, par la chaleur. Ainsi dans l'action chimique de la combustion ordinaire résultant de l'union du charbon et de l'oxygène, la dépense de combustible est proportionnelle à la dilatation des substances chauffées; l'eau passant librement à l'état de vapeur consomme plus de combustible que lorsqu'elle est confinée et maintenue à une température supérieure à son point d'ébullition.

Comment l'action chimique produit-elle la chaleur, ou quelle est l'action des molécules de matière lorsqu'elles s'unissent chimiquement? C'est une question pour la solution de laquelle on a proposé plusieurs théories, mais qui, probablement, ne sera jamais résolue qu'approximativement.

Quelques auteurs l'expliquent par la condensation qui a lieu; mais cela ne rendrait pas compte

des cas nombreux où, par suite de la mise en liberté des gaz, la combustion chimique détermine un grand accroissement de volume, comme dans l'exemple très-familier de la poudre à canon; d'autres veulent que la chaleur provienne de l'union des atmosphères d'électricité positive et négative que l'on suppose entourer les atomes des corps; mais c'est entasser hypothèse sur hypothèse. Le docteur Wood a dernièrement émis une opinion relative à la chaleur des actions chimiques qui s'accorde mieux avec une théorie dynamique, et qui, comme telle, demande à être indiquée.

Partant de la proposition que j'ai énoncée (p. 65), que, plus les particules des corps sont rapprochées les unes des autres, moins elles ont besoin d'être déplacées pour produire un mouvement donné dans les particules d'un autre corps; son argumentation, si je l'ai bien comprise, peut prendre à peu près cette forme.

Dans le rapprochement mécanique des particules d'un corps homogène, il se produit de la chaleur; les particules *aa* du corps A, par leur rapprochement, feront dilater le corps B placé dans leur voisinage, et dans une proportion d'autant plus grande qu'elles étaient elles-mêmes primitivement plus proches les unes des autres. Si A et B se combinent chimiquement, les particules *aa* du corps A arrivent très-près des particules *bb* du corps B; il doit, par conséquent, en résulter aussi de la

chaleur, et une chaleur plus grande, parce qu'on doit admettre que le rapprochement des particules est beaucoup plus grand dans le cas de la combinaison chimique que dans le cas de la compression mécanique. Dans les cas donc où la combinaison chimique n'entraîne pas une diminution absolue de volume, si la proximité plus grande des particules qui se combinent est telle que la dilatation correspondante doive être plus grande (en supposant qu'il n'y eût pas de combinaison chimique) que celle qui convient à l'espace occupé par le volume total du nouveau composé, il restera disponible au dehors un excès de pouvoir d'expansion; il devra donc y avoir dans les corps environnants production de chaleur ou dilatation. En d'autres termes, si les particules *a a* pouvaient être aussi rapprochées l'une de l'autre par l'attraction physique qu'elles sont rapprochées par l'action chimique des particules *b b,* elles produiraient par leur rapprochement plus grand un pouvoir expansif *ultra* ou en excès, relativement au volume occupé par le composé chimique résultant de la combinaison de A et de B. Mais il se présente immédiatement une question : Comment le volume du composé peut-il rester limité et ne pas occuper l'espace entier qui correspond au pouvoir expansif résultant de la contraction ou du rapprochement des molécules? Puisque la distance des particules est le résultat de la lutte entre les pouvoirs de dilatation et de contraction, ce résultat devra s'exprimer lui-

même en termes du volume actuellement produit par la combinaison, ce qu'il ne fait pas certainement.

Quoique je voie quelques difficultés dans la théorie du docteur Wood, peut-être parce que je ne l'ai pas exactement comprise, ses vues ont pour moi d'autant plus d'intérêt que sa manière de considérer les phénomènes naturels est très-analogue à celle que je défends dans cet essai, et depuis plusieurs années; c'est-à-dire qu'il s'efforce comme moi de débarrasser les sciences physiques, autant que possible, des fluides hypothétiques, des éthers, des entités latentes, des qualités occultes. L'idée que je me fais de la chaleur produite par l'action chimique, si tant est que je me hasarde à émettre une opinion sur un sujet si controversé, est qu'elle est analogue à la chaleur née du frottement; que les particules de la matière, amenées à un rapprochement intime et animées entre elles d'un mouvement très-rapide, développent de la chaleur sous forme de continuation du mouvement interrompu par le frottement ou le mouvement intestinal des particules : la chaleur serait ainsi produite, que le composé résultant ait un volume plus grand ou plus petit que la somme des volumes des composants; quoique naturellement si le composé est d'un volume plus grand, il y aura moins de chaleur communiquée aux corps environnants, la dilatation se produisant dans l'une des deux substances ellesmêmes. Je dis dans une d'elles, car il est affirmé dans

des ouvrages qui font autorité, qu'il n'est pas d'exemple de deux ou plusieurs solides ou liquides ou d'un solide et d'un liquide se combinant et produisant un composé qui soit entièrement gazeux à la température et à la pression ordinaires. La substance appelée poudre-coton, découverte par M. Schoenbein, réalise cependant à très-peu près cette proposition.

M. le docteur Andrews est arrivé à cette conclusion, déduite d'expériences faites avec un très-grand soin, que dans les combinaisons chimiques où entrent des acides et des alcalis, ou des substances analogues, la quantité de chaleur produite est déterminée par l'élément basique; et ses expériences ont reçu l'assentiment général, bien que M. Hess soit arrivé à des résultats contraires, et que, d'après ses expériences, ce serait l'élément ou constituant acide qui donnerait la mesure de la chaleur développée.

La *lumière* est produite directement par l'action chimique, comme dans l'éclair de la poudre à canon, la combustion du phosphore dans le gaz oxygène, et toutes les combustions rapides. De fait, partout où une chaleur intense est développée, elle est accompagnée de lumière. Dans plusieurs cas de combustion lente, comme dans tous les phénomènes de phosphorescence, la lumière est en apparence beaucoup plus intense que la chaleur ; la première étant évidente, tandis que la seconde est si difficile à découvrir que, pendant un temps très-

long, on se demandait s'il y avait quelque chaleur dégagée, et je ne suis pas certain que, même à présent, aucun effet thermique ait été mis en évidence dans certains phénomènes de phosphorescence, comme ceux du bois pourri, du poisson en putréfaction, etc.

L'action chimique produit le *magnétisme* partout où elle est amenée à s'exercer dans une direction déterminée, comme dans les phénomènes de l'électrolyse. Je puis citer la pile voltaïque à gaz, comme présentant un cas très-simple de la production du magnétisme par synthèse chimique. L'oxygène et l'hydrogène, dans cette disposition, se combinent chimiquement; mais, au lieu de se combiner par un mélange moléculaire intime, comme dans les cas ordinaires, ils agissent sur l'eau, c'est-à-dire sur l'oxygène et l'hydrogène en combinaison, placée entre eux, de manière à produire une ligne d'action chimique; or, une aiguille aimantée adjacente à cette ligne se trouve déviée et se place à angle droit avec elle. Ce que fait ici une série ou chaîne de molécules, on n'en peut pas douter, toutes les molécules entrant en combinaison le produiraient dans les actions chimiques ordinaires; mais, dans ce cas, les directions des lignes de combinaison étant irrégulières et confuses, il n'existe pas de résultante générale qui puisse affecter l'aimant.

Quelle est la nature vraie du transport du pouvoir chimique à travers un électrolyte? Nous ne le savons pas encore, et nous ne pouvons pas nous

en former une idée plus nette que celle qui est donnée par la théorie de Grotthus. Nous ne connaissons nullement la nature réelle d'aucun mode d'action chimique, et, pour le moment, nous devons nous borner à les considérer comme l'effet obscur d'une force dont les recherches futures nous rendront l'intelligence plus facile.

La doctrine des combinaisons en proportions définies, qui sert d'une si excellente manière à relier la chimie à l'électricité voltaïque, conduit aussi à la théorie atomique, laquelle, quoique adoptée dans sa généralité par la majorité des chimistes, présente de grandes difficultés quand on vient à l'étendre à toutes les combinaisons chimiques.

Les rapports équivalents suivant lesquels un grand nombre de substances se combinent chimiquement se trouvent vérifiés dans tant de cas, que la théorie atomique est admise par plusieurs comme étant universellement applicable et constituant une loi de la nature; cependant, quand on la suit dans les combinaisons des substances dont les attractions chimiques mutuelles sont très-faibles, le rapport des équivalents disparaît, et l'on cherche à le reconstituer en appliquant un coefficient différent et arbitraire aux différents éléments constituants.

Ainsi, quand on eut trouvé qu'un grand nombre de substances se combinaient en volumes et en poids définis, et seulement en volumes et en poids définis, on en conclut que leurs dernières molécules

ou atomes avaient des dimensions définies ou étaient indivisibles, car, autrement, on ne verrait pas pourquoi le rapport équivalent se maintiendrait partout; comment, par exemple, l'eau ne pourrait-elle être formée que par deux volumes ou une unité en poids d'hydrogène, et un volume ou huit unités en poids d'oxygène; comment, à moins qu'il n'y ait certaines limites dernières à la divisibilité de ces molécules, ne pourrait-il pas se former de l'eau ou une substance fluide analogue à l'eau par ses caractères, par une moitié, un tiers, un dixième de partie d'hydrogène avec huit parties d'oxygène?

Il est parfaitement conforme à la théorie atomique qu'une substance puisse être formée avec une partie combinée à huit parties, ou à seize, ou à vingt-quatre parties; car, dans une substance ainsi formée, il n'y aura pas de subdivision de la molécule (supposée indivisible), et c'est ce qui a lieu pour beaucoup de composés; ainsi, quatorze parties en poids, ou quatorze grammes d'azote, se combinent respectivement avec huit, seize, vingt-quatre, trente-deux et quarante parties en poids ou grammes d'oxygène.

De même aussi, vingt-sept grammes de fer se combinent avec huit grammes d'oxygène ou avec vingt-quatre grammes, c'est-à-dire avec trois proportions d'oxygène. On ne connaît aucun composé dans lequel vingt-sept grammes de fer se combinent avec deux proportions ou seize grammes d'oxygène; mais

ce fait ne peut pas nuire beaucoup à la théorie, parce que ce composé peut être enfin découvert, et qu'il peut exister des raisons encore inconnues qui s'opposent à sa formation.

Mais voici où naît la difficulté : vingt-sept parties en poids de fer se combinent avec douze parties en poids d'oxygène, et vingt-sept parties de fer se combinent aussi avec dix et deux-tiers de parties d'oxygène. Ainsi, si nous retenons l'unité de fer, il faudra subdiviser l'unité d'oxygène; ou, si nous retenons l'unité d'oxygène, il faudra subdiviser l'unité de fer; ou bien, il faudra subdiviser les deux unités par un diviseur différent. Que devient alors la notion d'atome ou de molécule physiquement indivisible ?

Si le fer était la seule substance sujette à cette difficulté, on pourrait la considérer comme une exception inexpliquée, ou comme un mélange de deux oxydes, ou bien l'on pourrait avoir recours à une subdivision poussée plus loin pour former des unités ou des équivalents des autres corps. Mais beaucoup d'autres substances se trouvent dans la même catégorie, et, dans les combinaisons organiques, pour conserver la nomenclature atomique, il faut appliquer un multiplicateur ou diviseur distinct au plus grand nombre des constituants élémentaires, c'est-à-dire, qu'il faut diviser ce qui, par hypothèse, est indivisible.

Ainsi, pour prendre une substance plus complexe que celle formée par la combinaison du fer et de l'oxy-

gène, considérons la substance albumine, composée de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de phosphore et de soufre. Dans ce cas, nous devons, soit diviser les atomes du phosphore ou du soufre, de manière à les réduire à de petites fractions ; ou multiplier les atomes des autres substances par des nombres extravagants. Ainsi, pour préserver l'unité de l'un des constituants de cette substance, certains chimistes disent qu'elle est composée de 400 atomes de carbone, 310 d'hydrogène, 120 d'oxygène, 50 d'azote, 2 de soufre, 1 de phosphore. C'est un cas un peu extrême ; mais on trouve que des difficultés semblables, quoique à des degrés différents, prévalent parmi les composés organiques ; dans beaucoup d'entre elles, aucun élément constituant ne peut être pris comme une unité par rapport à laquelle de simples multiples de chacun des autres éléments exprimeraient les quantités proportionnelles suivant lesquelles ils entrent dans la combinaison. Par le mode de notation adoptée, si l'on choisit une substance imaginable quelconque, elle peut, quelles que soient les proportions de ses constituants, être appelée atomique. Une solution d'un poids donné de sucre dans un kilogramme d'eau, dans un kilogramme et demi, dans un kilogramme et un quart, dans un kilogramme et un dixième, peut être exprimée par une formule atomique, si l'on choisit convenablement le multiplicateur ou le diviseur.

Il est vrai que, dans le cas de la solution, différentes proportions peuvent s'unir jusqu'au point

de saturation, sans aucune différence dans le caractère composé; on pourrait dire la même chose, jusqu'à un certain point, d'un acide et d'un alcali. Mais, même alors que les combinaisons se font par bonds ou par sauts brusques, que les composés ne peuvent exister qu'en proportions définies, on ne peut pas, dans une multitude de cas, les réconcilier avec l'idée véritable d'une combinaison atomique, c'est-à-dire, d'un atome avec un atome, d'un atome avec deux atomes, etc.

Quoique, par conséquent, la nature se présente à nous avec des faits qui démontrent l'existence d'une certaine loi restrictive des combinaisons et limitant dans un grand nombre de cas les rapports suivant lesquels les substances se combinent, qu'elle nous fournisse de nombreux exemples de proportion définie entre le poids par lequel un des composés entre dans la combinaison et les poids des autres éléments; quoiqu'elle nous montre en outre une simplicité remarquable dans les volumes suivant lesquels beaucoup de gaz s'unissent, il n'en est pas moins vrai qu'elle nous offre aussi nombre de cas où la doctrine des combinaisons atomiques ne peut guère être appliquée.

Qu'il doive exister dans la constitution de la matière, ou dans les forces qui agissent sur elle, quelque chose qui explique pourquoi les combinaisons chimiques se font *par saut,* c'est incontestable; mais l'idée d'atome ne suffit pas à expliquer seule cette manière de se combiner.

En choisissant un multiplicateur ou un diviseur particulier pour chaque élément, les chimistes ont réussi à représenter toutes les combinaisons en termes dérivés de la théorie atomique; mais ils abandonnent alors la loi primordiale qui ne voit partout que des multiples définis, et la dénomination certainement hypothétique d'atomes que les relations simples qui semblaient exister entre les poids des éléments ou combinaisons les avaient conduits d'abord à admettre; ils sont obligés de changer et de se contredire dans les termes, en divisant ce que leurs hypothèses et leurs notations leur avaient fait admettre comme indivisible.

En résumé, en même temps que je reconnais une grande vérité naturelle dans les proportions définies que présentent un grand nombre de combinaisons chimiques, et dans la marche par saut qui préside à la formation de presque toutes, je ne puis pas accepter comme un argument en faveur de la théorie atomique les combinaisons qui ne peuvent lui venir en aide que par l'application d'une notation arbitraire.

Cette même violence faite à la théorie des équivalents semble s'étendre à la doctrine des radicaux composés. La découverte du cyanogène par Gay-Lussac fut probablement le premier acheminement vers cette doctrine des radicaux composés, qui est aujourd'hui admise généralement, trop généralement admise peut-être, dans la chimie organique.

Comme dans le cas du cyanogène, un corps évidemment composé remplit dans presque toutes les réactions les fonctions d'un corps simple; de même, dans plusieurs autres cas, on a vu que des corps dans la combinaison desquels il entre un grand nombre d'éléments, pouvaient être regardés comme des combinaisons binaires, en considérant certains groupes de ces éléments comme un radical composé, c'est-à-dire comme un corps simple quand on le compare à la substance plus complexe dont il fait partie, et seulement comme non-simple ou non-élément lorsque l'on tient compte de sa constitution intime.

Indubitablement, en rapprochant dans la théorie les réactions de la chimie organique et inorganique, en maintenant l'esprit dans les limites des voies battues, au lieu de lui permettre de s'égarer dans un labyrinthe de faits isolés, la doctrine des radicaux composés rend des services réels; mais, d'un autre côté, la variété indéfinie de changements que l'on peut imaginer dans la composition d'une substance organique, par les différents modes d'association de ses éléments primitifs, font que les composants binaires varient suivant l'esprit des auteurs qui les étudient, et que leur groupement dépend entièrement de la valeur des analogies qu'elles présentent à chaque esprit particulier. Par cette raison et par suite de la licence extrême que l'on s'est permise dans le groupement théorique déduit de cette doctrine, on est en droit de se demander sé-

rieuseement si elle n'aura pas pour effet dernier, à moins qu'on ne la restreigne grandement, d'amener de la confusion au lieu de simplifier, et d'être pour l'étudiant plutôt un embarras qu'un aide véritable.

AUTRES MODES DE FORCE.

La FORCE CATALYTIQUE, ou les effets de combinaison et de décomposition déterminés par la simple présence d'un corps étranger, embrasse une classe de faits qui doivent modifier considérablement plusieurs de nos idées relativement à l'action chimique. Ainsi l'oxygène et l'hydrogène, mélangés à l'état gazeux, restent inaltérés pendant une période de temps indéfinie; mais l'introduction dans le mélange d'une lame de platine pur détermine leur combinaison plus ou moins rapide, sans que la lame soit elle-même altérée en aucune manière. D'un autre côté, l'eau oxygénée, composé formé d'un équivalent d'hydrogène et de deux équivalents d'oxygène, demeure parfaitement stable lorsqu'il reste à une certaine température; mais si on le touche avec du platine dans un état de division très-grande, il est instantanément décomposé; un équivalent d'oxygène est mis en liberté. Ici, encore, le platine est inaltéré; nous avons donc à la fois et une synthèse

et une analyse effectuées en apparence par le simple contact d'un corps étranger. Il n'est pas improbable que l'accroissement de pouvoir électrolytique, communiqué à l'eau par l'addition de certains acides, comme l'acide sulfurique ou phosphorique, sans que ces acides soient eux-mêmes décomposés, dépende d'un effet catalytique de ces acides ; mais nous connaissons trop peu la nature et la raison de la force catalytique pour exprimer avec confiance une opinion quelconque sur son mode d'action ; et il est fort possible que l'on comprenne sous cette seule et même dénomination des actions moléculaires très-différentes. Dans aucun cas, la force catalytique ne nous présente une puissance ou une force d'un genre nouveau ; elle détermine seulement, ou facilite simplement l'action de la force chimique, et, par conséquent, il n'y a pas dans le contact de création de force.

La force, ainsi développée par catalyse, peut être amenée à prendre une forme voltaïque de la manière suivante : Dans un simple couple de la pile à gaz à laquelle nous avons fait allusion, on fait plonger une des extrémités d'une lame de platine au sein d'un tube rempli d'oxygène, et l'autre extrémité au sein d'un tube rempli d'hydrogène ; les deux gaz et les deux extrémités de la lame de platine étant unis par de l'eau ou un autre électrolyte, il se forme ainsi une combinaison voltaïque qui peut, à la volonté de l'expérimentateur, pro-

duire de l'électricité, de la chaleur, de la lumière, du magnétisme ou du mouvement.

Nous avons, dans la pile ainsi constituée, un exemple frappant de dilatations et de contractions corrélatives, analogues, quoique sous une forme beaucoup plus délicate, aux dilatations et aux contractions par la chaleur et par le froid, que nous avons énumérées dans la première partie de cet essai, et mises en évidence par les alternatives des deux vessies partiellement remplies d'air : ainsi, de même que par l'effet de la combinaison chimique, dans chaque couple de la pile à gaz, les gaz oxygène et hydrogène perdent leur caractère gazeux et se transforment en eau ; de même, aux pointes terminales en platine de la pile, lorsqu'elles sont plongées dans l'eau, l'eau est décomposée et se résout en gaz oxygène et hydrogène.

La force corrélative qui change les gaz en liquide en un point de l'espace, change le liquide en gaz sur un autre point, et le volume qui disparaît en un lieu reparaît exactement dans l'autre ; de sorte qu'il semble à un œil inexpérimenté que les gaz passent à travers des fils solides.

Je n'avais fait allusion qu'en passant, dans mes lectures originales, à la *Pesanteur,* à l'*Inertie,* à la *Cohésion:* leurs relations avec les autres modes de forces semblent beaucoup moins définies et assignables ; mais, comme les effets ou phénomènes résultant de la pesanteur et de l'inertie sont le mouvement ou la

résistance au mouvement, en considérant le mouvement, j'ai traité implicitement des rapports de l'inertie et de la pesanteur avec les autres forces.

M. Mosotti a traité mathématiquement la question de l'identité de la pesanteur avec l'attraction cohésive ou la cohésion. M. Plucker a réussi récemment à prouver que les corps cristallisés sont affectés d'une manière déterminée par le magnétisme, et qu'ils prennent, relativement aux lignes de force magnétique, des positions qui dépendent de celles de leurs axes optiques ou de symétrie.

Ce que l'on appelle axe optique est, dans l'intérieur des cristaux, une direction déterminée, suivant laquelle ils ne réfractent pas doublement la lumière, une direction qui est parallèle à l'axe de symétrie, dans les cristaux qui n'ont qu'un seul axe de figure ou une seule ligne autour de laquelle tout est symétrique. Soumis à l'influence magnétique, les cristaux prennent une position telle, que l'axe optique, comme dans les corps diamagnétiques allongés, devient transversal ou perpendiculaire aux lignes de force magnétique; lorsque, comme dans le cas de certains cristaux, il y a plus d'un axe optique, la résultante ou la diagonale du parallélogramme construit sur ces deux axes se place diamagnétiquement. La cyanite est influencée par le magnétisme d'une manière si marquée, que, suspendue, elle se dispose, relativement à la direction du magnétisme terrestre, comme l'aiguille d'une boussole, et peut en tenir lieu.

Il n'est presque pas douteux que la force qui agit dans la cohésion est la même qui fait prendre à la matière une forme cristalline; en effet, un grand nombre de corps, si non tous, qui semblent amorphes, apparaissent, lorsqu'on les examine plus attentivement, doués d'une structure cristalline: nous rencontrons ainsi une réciprocité d'action entre les forces qui unissent les molécules de la matière et la force magnétique; par l'intermédiaire de cette dernière force, s'établit une relation entre la force d'attraction de la cohésion et les autres modes de force.

Je pense que les mêmes principes et les mêmes modes de raisonnement que j'ai adoptés dans cet essai peuvent s'appliquer au monde organique comme au monde inorganique; et que la force musculaire, la chaleur animale ou végétale, etc., peuvent et ont entre elles, dans plusieurs cas, des relations déterminées semblables; mais j'ai résolu de ne pas aborder ce sujet, parce qu'il appartient à une branche de la science à laquelle je n'ai pas donné beaucoup d'attention. Je dois cependant, puisque je fais allusion à cette matière, faire mention brièvement des expériences de M. le professeur Matteucci, communiquées à la Société royale dans l'année 1850, desquelles il résulte que, quel que soit le mode de force propagé le long des filaments nerveux, ce mode de force est affecté d'une manière déterminée par les courants électriques. Ses expériences prouvent que, si un courant d'élec-

tricité positive parcourt une portion du muscle d'un animal vivant, dans la même direction que celle suivant laquelle les nerfs se ramifient, c'est-à-dire, dans la direction du cerveau aux extrémités, il se produit une contraction musculaire dans le membre sur lequel on expérimente, ce qui montre que le nerf du mouvement est affecté; tandis que, si le courant, comme on l'appelle, est amené à traverser le muscle dans la direction inverse, ou des extrémités vers les centres nerveux, l'animal pousse des cris et donne tous les signes d'une douleur ressentie, sans qu'il y ait production sensible de mouvement musculaire, ce qui montre que, dans ce cas, les nerfs de la sensation sont affectés par le courant électrique : il résulte donc de ces faits qu'une condition polaire déterminée existe ou naît par induction dans les nerfs, en rapport avec l'électricité, et que, probablement, cette condition polaire constitue l'action nerveuse. Il est d'autres analogies, énoncées dans les mémoires de M. Matteucci et dérivées de l'action des organes électriques des poissons, qui tendent à confirmer et à développer cette même manière de voir.

Par une application de la doctrine de la corrélation des forces, M. le docteur Carpenter a montré comment on peut résoudre en partie une difficulté à laquelle donne lieu la manière dont on comprend ordinairement le développement d'un être organisé par sa cellule germinative. Plusieurs physiologistes ont pensé que le *nisus formativus*, ou la force

d'organisation de la structure animale ou végétale, existe à l'état dormant dans la cellule germinative et primordiale. Dans cette manière de voir, la force d'organisation nécessaire pour constituer un chêne ou un palmier, un éléphant ou une baleine, serait concentrée dans une particule très-menue, qu'on ne peut discerner qu'à l'aide du microscope.

Certaines autres opinions, tout aussi hérissées de difficultés, ont été proposées. M. le docteur Carpenter a mis en avant la probabilité de forces étrangères, comme la chaleur, la lumière, l'affinité chimique, agissant continuellement sur le germe matériel, de sorte que tout ce qui est requis dans ce germe est une structure capable de recevoir, de diriger, de convertir ces forces en celles qui tendent à l'assimilation de la matière étrangère et au développement défini de la structure particulière à l'être dont il s'agit. En preuve de cette assertion, il montre combien le progrès du développement du germe dépend de la présence et de l'action des forces extérieures, particulièrement de la chaleur et de la lumière, et comment il est régularisé par l'application mesurée de ces mêmes forces.

Il est certainement beaucoup moins difficile alors de concevoir l'approvisionnement de forces apporté du dehors aux êtres organiques, dans leur accroissement graduel, que d'admettre une provision de force dormante ou latente emmagasinée dans une monade microscopique.

Comme par la construction artificielle d'une pile

voltaïque des actions chimiques peuvent être amenées à coopérer dans une direction déterminée, de même, par l'organisation d'un végétal ou d'un animal, le mode de mouvement qui constitue la chaleur, la lumière, etc., peut, sans extravagance, être conçu, approprié et converti en forces qui déterminent l'absorption et l'assimilation alimentaires, et en actions nerveuses et musculaires. On trouve dans les écrits de M. Liebig l'indication de ces mêmes aperçus.

Dans l'étude des corrélations des forces vitales avec les forces physiques inorganiques, on rencontre une difficulté provenant des effets de la sensation et du sentiment intérieur, et qui amène une confusion semblable à celle dont nous avons fait mention, lorsqu'en traitant de la chaleur, nous nous sommes hasardé à insinuer que les observateurs sont trop disposés à confondre les sensations avec les phénomènes. Ainsi, poûr appliquer quelques-unes des considérations sur la force que j'ai développées dans l'introduction de cet essai aux cas où la vitalité et le sentiment interviennent, lorsqu'un poids est soulevé par la main, il doit y avoir, conformément à la doctrine de la noncréation de la force, une dépense de force équivalente à l'intensité de la pesanteur qu'il faut surmonter pour élever le poids. Qu'il y ait là une dépense réelle, nous pouvons le prouver, quoique, dans l'état actuel de la science, nous ne puissions pas la mesurer. En effet, prolongeons l'effort, tenons ce

poids soulevé pendant une heure ou deux, le pouvoir vital s'affaiblit; l'aliment, c'est-à-dire une provision de force chimique fraîche, devient nécessaire pour suppléer à l'épuisement. Si l'aliment n'est pas donné et que l'on continue à exercer l'effort, nous voyons survenir la consomption des forces, la faiblesse et l'amaigrissement du corps.

La conscience de l'effort, qui a servi de base à l'argumentation de quelques écrivains lorsqu'ils traitaient de la force, et qu'ils ont cru être ce qui faisait naître en nous l'idée de la force, peut être comparé, par l'étudiant physicien, à ce qu'est le sentiment dans les phénomènes de la chaleur et du froid, c'est-à-dire, considéré comme une sensation de l'effort des mouvements moléculaires, qui s'opposent, pour la surmonter, à la résistance des masses à mettre en mouvement. Lorsque nous disons que nous sentons la chaleur, que nous sentons le froid, que nous exerçons nous-mêmes un effort, notre manière de nous exprimer est intelligible pour les êtres qui sont capables d'éprouver des sensations semblables; mais les changements physiques qui accompagnent ces sensations, ne sont nullement expliqués par là. Sans avoir la prétention de connaître ce que, probablement, nous ne connaîtrons jamais, le mode actuel d'action, *modus agendi,* du cerveau, des nerfs, des muscles, etc., nous pouvons étudier les phénomènes vitaux, comme nous étudions les phénomènes inorganiques, par l'observation à la fois et par l'expérience. Ainsi, Sir Benjamin Brodie a exa-

miné l'effet de la respiration sur la chaleur animale, en déterminant une respiration artificielle après la section du cordon spinal; il a trouvé que, dans ce cas, la chaleur animale va en diminuant, malgré la continuation de l'action chimique de la respiration, et la formation, comme à l'ordinaire, d'acide carbonique; mais il a trouvé aussi que, dans de semblables circonstances, l'énergie des actions musculaires de l'animal est très-grande, et suffit probablement à rendre compte de la force dégagée par l'action chimique dans la digestion et la respiration; Liebig, en mesurant la quantité d'action chimique dans la digestion et la respiration, et la comparant avec le travail accompli, a établi jusqu'à un certain point leur rapport équivalent.

Dans le même individu, l'état chimique et l'état physique des sécrétions dans les parties chaudes et dans les parties froides du corps, peuvent être comparées entre eux. Les changements dans la digestion et la respiration, lorsque le corps est dans un état de repos, peuvent être comparés aux changements analogues qui ont lieu lorsque le corps est dans un état d'activité. Les relations avec la matière extérieure qui ont pour effet de maintenir, par le jeu constant des forces naturelles, le noyau vital, ou l'organisation par le moyen de laquelle la matière et la force reçoivent, pour une période déterminée de temps, une direction et une assimilation déterminées, peuvent être mises en évidence, pendant que

les changements moins saisissables, survenus dans la structure intime, nous sont révélés par la puissance toujours plus grande du microscope ; et ainsi, pas à pas, nous pouvons acquérir la science qu'il nous est donné d'atteindre, science sans limite dans son cours et infinie dans ses progrès, science, par conséquent, qui ne donnera jamais la réponse à ce terrible ultimatum : — Comment ?

De même que la première lueur d'un nouvel astre est perçue par l'œil de l'astronome, pendant qu'il dirige sa vue vers un autre point de l'espace, tandis qu'elle s'évanouit pour celui qui le regarde fixement, et que, pour arriver définitivement à connaître sa position et sa figure, il faut des instruments d'un pouvoir de plus en plus pénétrant ; ainsi, ces premières scintillations d'un nouveau phénomène naturel se présentent souvent d'elles-mêmes à l'œil de l'observateur, lorsqu'il les voit incidemment, obliquemment, si l'on peut s'exprimer ainsi, et disparaissent tout à fait lorsqu'il les regarde en face. Lorsque de nouvelles puissances de pensée et d'expérience ont développé et corrigé ces premières notions, et donné un caractère à la nouvelle image, caractère probablement différent de l'impression première, de nouveaux objets commencent bientôt à briller sur les bords du nouveau champ de vision, objets qui auront à être vérifiés à leur tour, et conduiront à de nouvelles extensions : c'est ainsi que l'effort que l'on fait pour bien arrêter une observation, conduit à

la perception imparfaite d'un champ de recherches nouveau et plus large, et au lieu d'approcher d'un terme dernier, plus nous faisons de découvertes, plus la série des phénomènes qui nous restent à découvrir apparaît infinie !

CONCLUSIONS.

J'ai maintenant passé en revue toutes les affections de la matière qui ont reçu des noms distincts dans la nomenclature reçue : que l'on puisse découvrir d'autres forces, différant autant des premières, qu'elles diffèrent l'une de l'autre, c'est très-probable : lorsqu'elles auront été découvertes, lorsque leurs modes d'action auront été complétement définis, trouvera-t-on qu'elles ont entre elles des relations intimes semblables à celles que les forces connues ont entre elles ? Je crois que c'est certain de toute la certitude que l'on peut avoir en prédisant un événement futur.

Dans beaucoup de cas, ce peut être une question très-difficile que de déterminer ce qui constitue une affection ou un mode de force distinct. Il est grandement probable que l'on aurait tracé, entre les forces déjà connues, d'autres lignes de démarcation si elles avaient été découvertes d'une manière différente, ou observées à différents points de la

chaîne qui les unit. Ainsi, la chaleur rayonnante et la lumière sont distinguées par la manière suivant laquelle elles affectent nos sens ; si on les avait considérées suivant la manière dont elles affectent la matière organique, on aurait probablement acquis des notions très-différentes de leurs caractères et de leurs rapports. L'électricité aussi a reçu son nom de la première substance dans laquelle on l'a découverte, comme le magnétisme, de la première contrée où on l'a observé ; et une série de phénomènes intermédiaires ont si bien rapproché l'électricité du galvanisme, que ces deux agents sont maintenant regardés comme une seule et même force, différant seulement par des degrés d'intensité et de quantité, quoique pendant longtemps elles aient été regardées comme distinctes.

Le phénomène d'attraction et de répulsion produit par l'ambre, qui a fait naître le mot *électricité*, diffère autant du phénomène de la décomposition de l'eau par la pile voltaïque que deux phénomènes naturels peuvent différer entre eux. C'est seulement parce que, dans la série historique des découvertes scientifiques, ils se sont montrés unis par un nombre suffisant d'anneaux intermédiaires, qu'on les a classés dans la même catégorie. Ce qu'on appelle électricité voltaïque peut également, et peut-être même plus proprement, être appelé chimie voltaïque. Je rappelle ces faits pour montrer que la distinction entre les noms est quelquefois beaucoup plus grande que la distinction entre les choses que les noms représentent,

et *vice versâ ;* ce n'est pas du tout que j'en veuille faire une objection à la nomenclature reçue, ou que je veuille dire qu'il serait bon de l'abandonner; si on le faisait, il en résulterait une confusion inévitable, et la nouvelle terminologie présenterait à son tour des objections également fondées.

Les mots, lorsqu'ils ont été admis ou établis à un certain degré, deviennent une part de l'esprit social, dont la puissance et même l'existence dépendent de l'adoption de symboles conventionnels; si on abandonnait les symboles tout à coup, ou si on les changeait au gré des conceptions individuelles, l'acquisition et la transmission de la science deviendraient impossibles. Sans doute que la néologie est plus permise dans la physique que dans toute autre branche des connaissances humaines, parce qu'elle est la plus progressive des sciences, et que des faits nouveaux et des relations nouvelles exigent de nouveaux noms; mais, même ici, il faut procéder avec beaucoup de réserve.

> . . . . Si forte necesse est
> Indiciis monstrare recentibus abdita rerum,
> Fingere cinctutis non exaudita Cethegis
> Continget; dabiturque licentia sumpta pudenter.

Alors, même que l'esprit serait conduit un jour à abandonner l'idée de forces diverses, à regarder tous les modes de force comme des manifestations différentes d'une seule et même force, ou à les résou-

dre définitivement en mouvement, nous n'en devrions pas moins toujours nous servir de divers termes conventionnels pour exprimer les différents modes d'action de cette force unique qui envahirait tout.

En repassant en revue les séries de relations entre les diverses forces que nous avons tour à tour considérées, nous verrons que, dans beaucoup de cas où l'une de ces forces est excitée ou existe, toutes les autres sont aussi mises en action; ainsi, lorsqu'une substance, comme le sulfure d'antimoine, est électrisée, elle devient *magnétique* au moment de l'électrisation, dans des directions à angle droit, avec les lignes de force électrique; elle devient, en même temps, *chaude* à un degré plus ou moins élevé, suivant l'intensité de la force électrique. Si cette intensité est exaltée au delà d'une certaine limite, le sulfure devient lumineux ou de la *lumière* est produite; il se dilate aussi, et, par conséquent, il y a production de *mouvement;* il se décompose enfin et il y a production d'*action chimique*. Si nous prenons une autre substance, par exemple un métal, toutes les forces, excepté la dernière, seront développées; et quoique nous puissions difficilement appliquer le terme d'action chimique à une substance jusqu'ici indécomposée, et qui, dans les circonstances que nous considérons, n'entre dans aucune nouvelle combinaison; cette substance, cependant, subit cette espèce de polarisation, qui, autant que nous pouvons en juger, est le premier pas vers l'action chi-

mique, et qui, si elle était décomposable, la résoudrait dans ses éléments. Peut-être, en effet, se produit-il quelque action chimique, non découverte encore, dans les substances que nous regardons comme indécomposables ; il est des expériences qui montrent que les métaux qui ont été électrisés ont éprouvé des changements permanents dans leur constitution moléculaire. L'oxygène, nous l'avons vu, est transformé en ozone par l'étincelle électrique, et le phosphore en phosphore allotropique. Ces deux changements ont été longtemps inconnus de ceux même auxquels la science électrique était familière.

Ainsi, avec certaines substances, lorsqu'un mode de force est produit, tous les autres sont développés simultanément. Avec d'autres substances, probablement avec toute matière, quelques-unes des autres forces sont développées toutes les fois que l'une a été excitée ; et elles le seraient toutes, si la matière était dans une condition convenable pour leur développement, ou si nos moyens de la découvrir étaient suffisamment délicats.

On a cru généralement que la production simultanée de plusieurs forces s'accordait difficilement avec l'idée de leur dépendance réciproque et nécessaire; cette simultanéité présente certainement une difficulté pratique formidable, quand il s'agit de déterminer leurs rapports équivalents; mais elle ne peut nullement, autant que je puis en juger, affecter la théorie qui les regarde toutes et chacune comme pouvant naître de l'exercice de l'une quelconque d'entre elles.

Choisissons, pour nous faire mieux comprendre, une ou deux des formes les plus graves qu'on a données à cette objection.

Une pile voltaïque, employée à décomposer l'eau dans un voltamètre, en même temps que le courant qu'elle produit circule autour d'un électro-aimant et le rend actif, donne, dans le voltamètre, un équivalent de gaz on de substance décomposée pour chaque équivalent de décomposition chimique au sein des auges, absolument comme si le courant n'agissait pas sur l'électro-aimant. En réponse à cette objection, on peut dire que, dans les circonstances où l'expérience est faite d'ordinaire, la pile est composée de plusieurs éléments, et que, par conséquent, il y a au sein des auges beaucoup plus de force engendrée qu'il n'y en a de mise en évidence par les effets produits dans le voltamètre. De plus, alors même que l'électro-aimant n'est pas interposé dans le circuit, ce circuit n'en est pas moins, sur tout son parcours, le siége d'une force magnétique; les fils, par exemple, qui unissent ses pôles, attirent la poussière de fer, font dévier les aiguilles aimantées, etc. Une petite portion de la force est absorbée par le noyau métallique de l'électro-aimant alors qu'il devient aimant; mais cette absorption de force cesse lorsque le fer est constitué à l'état d'aimant; ce fait a été mis en évidence par des observations récentes de M. Latimer Clarke, qui a montré que le long des fils télégraphiques, les aiguilles aimantées, placées à distance,

restaient immobiles pendant que le courant électrique agissait, par induction, sur les surfaces conductrices voisines, séparées de lui par la couche de gutta-percha, de manière à constituer une sorte de bouteille de Leyde; mais qu'aussitôt que cette induction avait produit son effet, les aiguilles aimantées étaient déviées. C'est quelque chose de semblable au poids soulevé par une poulie, poids qui épuise de la force pendant qu'on le soulève, mais qui, une fois soulevé, restitue ou rend libre la force qu'il avait absorbée et que l'on peut employer à d'autres usages. Si, dans l'expérience dont nous parlons, on se servait d'une pile à un seul élément, juste assez puissante pour décomposer l'eau, mais rien de plus, cette pile, certainement, cesserait de décomposer l'eau, si on l'obligeait à aimanter un électro-aimant : s'il en était autrement, si la décomposition de l'eau dans le voltamètre était l'expression ou l'équivalent de la force engendrée dans les auges, et que le courant produisît en outre la force magnétique de l'aimant, cette dernière force serait engendrée de rien, et le mouvement perpétuel serait réalisé.

Dans un autre cas qu'on pourrait citer, il arrivait qu'un morceau de zinc, dissous dans l'acide sulfurique, donnait un peu moins de chaleur lorsqu'il était seul que lorsqu'il était attaché à un fil de platine, et qu'il se dissolvait dans la même quantité d'acide.

L'objection se formule ainsi : Puisqu'il y a plus d'électricité produite dans le second cas que dans

le premier, il devrait y avoir moins de chaleur engendrée.

Voici la réponse : Suivant les théories reçues, la chaleur est le produit du courant électrique ; et comme, par suite de l'impureté du zinc, l'électricité est engendrée dans le premier cas moléculairement, par l'effet de ce qu'on appelle une action locale, sans cependant que cette électricité circule dans une direction générale ou commune, il doit y avoir à la fois plus de chaleur et d'électricité dans le second cas que dans le premier, parce que la chaleur et l'électricité, dues à la combinaison voltaïque du zinc et du platine, viennent s'ajouter à celle qui naît à la surface du zinc ; le zinc aussi, dans le second cas, doit se dissoudre plus rapidement ; or, c'est ce qui a lieu en effet.

On pourrait imaginer beaucoup d'autres exemples de ce genre d'anomalies.

Mais, quoiqu'il soit difficile, sinon peut-être impossible de restreindre l'action d'une certaine force donnée à la production d'une autre force et à la production de cette seule force, cependant, si la totalité d'une force, de l'action chimique, par exemple, est supposée employée à produire son équivalent entier d'une autre force, de la chaleur, par exemple, dès lors, comme cette chaleur est capable de reproduire à son tour l'action chimique et de la reproduire en quantité égale à la force initiale qui est l'action chimique, ou en quantité qui n'en diffère qu'infiniment peu ; si cette chaleur pouvait

engendrer en même temps et indépendamment une autre force, le magnétisme, par exemple, nous pourrions, en ajoutant cette nouvelle force convertie à son tour en chaleur à la chaleur produite immédiatement, obtenir plus que l'action chimique primitive, en créant de la force ou en réalisant le mouvement perpétuel.

Le mot corrélation, que j'ai choisi pour titre de mes lectures en 1843, rigoureusement interprété, signifie une dépendance mutuelle et réciproque de deux idées inséparables, même dans la conception mentale : ainsi l'idée de hauteur ne peut pas exister sans comprendre l'idée corrélative de profondeur; l'idée de paternité ne peut pas exister sans comprendre l'idée de postérité. Ce mot corrélation a été rarement employé, si même il l'a jamais été, par les écrivains qui traitent de la physique; il est cependant une grande variété de relations physiques qui, certainement, ne sauraient être aussi bien exprimées par un autre mot, quoique peut-être on ne puisse pas le leur appliquer dans sa signification strictement originale. Il est, par exemple, beaucoup de couples de faits dont l'un ne peut pas exister sans entraîner l'existence de l'autre; l'un des bras d'un levier ne peut pas être abaissé sans que l'autre s'élève; le doigt ne peut pas presser la table, sans que la table presse le doigt; un corps ne peut pas être chauffé sans qu'un autre corps soit refroidi, ou sans que quelque autre force soit dépensée ou épuisée dans un rapport équivalent à la production de la chaleur;

un corps ne peut pas être électrisé positivement sans qu'un autre corps soit électrisé négativement, etc.

Il est très-probable que, sinon tous, au moins le plus grand nombre des phénomènes physiques sont corrélatifs, et que, sans une dualité de conception, l'esprit ne pourrait pas s'en faire une idée : ainsi le mouvement ne peut pas être perçu ou même probablement imaginé sans changement relatif de position, ou ce qu'on appelle une parallaxe. Notre globe a été cru fixe, jusqu'à ce que, par la comparaison avec les corps célestes, il a été trouvé qu'il changeait de place par rapport à eux ; s'il n'y avait pas eu de matière perceptible extérieure au monde, nous n'aurions jamais découvert son mouvement. Quand on navigue le long d'une rivière, les vaisseaux stationnaires et les objets fixes sur le rivage semblent se mouvoir par rapport à l'observateur ; s'il arrive enfin à la conviction que c'est lui qui se meut et non pas ces objets, c'est en corrigeant l'erreur de ses sens par la réflexion dérivée de l'usage plus étendu qu'il en a fait auparavant ; même alors il ne se forme une notion du mouvement du vaisseau dans lequel il est, que par son changement de position relativement aux objets devant lesquels il passe, c'est-à-dire à la condition que son corps participe au mouvement du vaisseau, ce qui a lieu seulement quand sa marche est parfaitement régulière et douce; car, autrement, le changement de position des différentes parties du corps et du navire lui donneraient la conscience de son mouvement alternatif, mais



non de son mouvement progressif. De même, dans tous les phénomènes physiques, les effets produits par le mouvement sont en proportion du mouvement relatif : ainsi, que le coussin d'une machine électrique soit stationnaire, ou qu'il soit mobile, le cylindre ou le plateau restant stationnaire, ou que tous deux, le coussin et le plateau, soient mobiles dans des directions contraires, ou dans la même direction avec des vitesses différentes, les effets électriques seront, toutes choses égales d'ailleurs, précisément les mêmes, pourvu que le mouvement ou déplacement relatif soit exactement le même, et ainsi, sans exception, pour tous les autres phénomènes. La question de savoir s'il peut y avoir un mouvement absolu, ou, de fait, une force absolument isolée, est uniquement la question métaphysique de l'idéalisme ou du réalisme; question dont la solution importe peu au but que nous nous proposons; les chercheurs de purs faits physiques adoptent la maxime : « *De non apparentibus et non existentibus eadem est ratio.* »

Le sens que j'ai attaché au mot corrélation, en traitant des phénomènes physiques, est, je le pense, rendu évident par les parties précédentes de cet essai ; c'est celui d'une production mutuelle ou réciproque; c'est, en d'autres termes, qu'une force capable d'en produire une autre, peut, à son tour, être reproduite par elle, et peut trouver, dans la force qu'elle produit, une résistance, et une résistance proportionnelle à l'énergie de la production,

puisque l'action étant toujours accompagnée de réaction, chaque force trouve une résistance dans la réaction qu'elle fait naître; ainsi l'action d'une machine électro-magnétique trouve sa réaction dans la magnéto-électricité développée par son action.

Dans plusieurs, cependant, des cas que nous avons considérés, le terme corrélation peut être appliqué dans un sens plus strictement d'accord avec son sens original; ainsi, pour ce qui concerne les forces de l'électricité et du magnétisme à l'état dynamique, nous ne pouvons pas électriser une substance sans l'aimanter; nous ne pouvons pas l'aimanter sans l'électriser. Chaque molécule, du moment où elle est affectée par une de ces forces est affectée par l'autre; quoique agissant dans des directions perpendiculaires, ces forces sont inséparables et mutuellement dépendantes, corrélatives, mais non identiques.

L'évolution ou la transformation d'une force ou d'un mode de force en un autre, a conduit quelques physiciens à regarder tous les agents naturels comme réductibles à l'unité, et comme résultant d'une force unique qui est la cause efficiente de toutes les autres; ainsi, un auteur prétend que l'électricité est la cause de tous les changements produits dans la matière, un autre veut que la chaleur soit cause de toutes choses, et ainsi de suite. Si, comme je l'ai établi, la véritable expression du fait est que chaque mode de force est capable de produire les autres; alors l'opinion qui regarde

l'une ou l'autre d'entre elles comme la cause efficiente absolue de toutes les autres, est erronée; je pense que cette opinion est provenue d'une confusion entre le sens abstrait ou généralisé du mot cause, et son sens particulier ou concret; le mot en lui-même étant pris indistinctement dans ces deux sens.

Une autre confusion de mots qui m'a, en réalité, beaucoup embarrassé lorsque je formulais les propositions énoncées dans ces pages, a son origine dans l'imperfection du langage scientifique; imperfection en grande partie inévitable, mais qui n'en est pas moins embarrassante. Ainsi les mots lumière, chaleur, électricité et magnétisme sont constamment employés dans deux sens; c'est-à-dire dans celui de force productrice, impliquant l'idée subjective de force ou de puissance, et celui d'effet produit, impliquant l'idée de phénomène objectif. Le mot mouvement, il est vrai, s'applique seulement à l'effet, et non à la force; et le mot affinité chimique s'applique généralement à la force et non pas à l'effet; mais les quatre autres termes, à défaut d'une terminologie distincte, s'appliquent indistinctement à tous les deux, la force et l'effet.

Je me suis servi à l'occasion du même mot tantôt dans un sens subjectif, tantôt dans un sens objectif; tout ce que je puis dire, c'est que cette confusion ne peut pas être évitée sans néologisme; or, je n'ai ni la prétention de créer de nouveaux mots, ni assez d'autorité pour les faire admettre. En outre, l'em-

ploi du mot *forces* au pluriel peut être critiqué par ceux qui n'attachent pas au mot force l'idée d'une action spécifique, mais celle d'une puissance universelle associée avec la matière, et dont les divers phénomènes que la matière présente ne sont que des effets diversement modifiés.

Les agents impondérables, considérés comme force et non comme matière, doivent-ils être regardés comme des forces distinctes ou comme des modes distincts de force ? Ces deux manières de voir ne diffèrent probablement pas matériellement; car, autant que je puis le savoir, elles conduiraient aux mêmes résultats; je me suis servi, en conséquence, de ces deux expressions indistinctement, suivant que l'une ou l'autre à l'occasion rendaient mieux ma pensée.

Dans tout le cours de cet essai, j'ai placé le mouvement dans la même catégorie que les autres affections de la matière. La marche de raisonnement que j'ai adoptée me semble, cependant, conduire inévitablement à cette conclusion que ces affections de la matière sont elles-mêmes des modes de mouvement; que, comme dans le cas de frottement, le mouvement grossier ou palpable, qui est arrêté ou empêché par la rencontre d'un autre corps, est subdivisé en mouvements moléculaires ou vibrations, lesquelles vibrations sont chaleur ou électricité suivant la circonstance; de même les autres affections sont seulement de la matière mue ou agitée moléculairement dans certaines directions déterminées.

Nous avons déjà examiné l'hypothèse qui veut que le passage de l'électricité et du magnétisme mette en vibration les molécules d'un éther pénétrant les corps à travers lesquels le courant est transmis, ou l'application de cette même hypothèse de l'éther aux agents impondérables que l'on a antérieurement mise en jeu dans la lumière; plusieurs, en parlant de quelques-uns de ces effets, admettent que l'électricité et le magnétisme déterminent ou produisent par leur passage des vibrations dans les particules de matière; mais ils regardent les vibrations ainsi produites comme un effet accidentel et non toujours nécessaire du passage de l'électricité, de l'accroissement ou de la diminution du magnétisme. L'opinion que j'ai embrassée, est que ces vibrations ou polarisations moléculaires, sont elles-mêmes l'électricité ou le magnétisme, ou, pour énoncer la proposition inverse, que l'électricité et le magnétisme dynamique sont eux-mêmes des mouvements, que le magnétisme permanent et l'électricité franklinique sont des conditions statiques de la force mécanique agissant sur les molécules. La production simultanée de toutes les affections de la matière que nous avons considérées ci-dessus, vient, il me semble, à l'appui de l'opinion qui ne voit en elles que des modes de mouvement.

Cette théorie pourrait être discutée plus en détail que je ne l'ai fait dans cet ouvrage; mais pour le faire et prévoir toutes les objections, il aurait fallu entrer dans des particularités étrangères à l'objet

que j'ai actuellement en vue; mon but, dans le cours de cet essai, ayant été plutôt de représenter la relation des forces comme démontrée par les faits connus, que d'entrer dans une explication détaillée de leurs modes spéciaux d'action.

L'homme, probablement, ne connaîtra jamais la constitution dernière de la matière ou les suppôts des actions moléculaires; il est, en effet, difficile de concevoir que l'esprit puisse jamais atteindre cette connaissance; les monades non résolues en atomes par un microscope donné pouvant toujours être résolues par une augmentation de pouvoir grossissant. J'ose même dire que l'on a déjà compromis quelque peu la science par les tentatives hypothétiques faites pour disséquer la matière, pour déterminer les formes, les dimensions et les nombres des atomes, avec leurs atmosphères de chaleur, d'éther, d'électricité, etc.

Que l'opinion qui regarde l'électricité, la lumière, le magnétisme, etc., comme de simples mouvements de la matière ordinaire, soit ou non admissible, il est certain que toutes les théories passées ont ramené, que toutes les théories actuelles ramènent les actions de ces forces au mouvement. Est-ce en raison de ce que le mouvement nous est si familier, que nous lui rapportons toutes les autres affections de la matière, et parce que cette manière de parler est plus accessible et plus apte à les expliquer; est-ce parce qu'en réalité le mouvement est le seul mode suivant lequel nos esprits puissent comprendre les actions matérielles; il est certain que

depuis l'époque à laquelle les idées mystiques de puissances spirituelles ou surnaturelles ont cessé d'être invoquées pour l'explication des phénomènes physiques, toutes les hypothèses imaginées pour les expliquer les ont ramenés au mouvement. Prenons pour exemple les théories de la lumière auxquelles nous avons déjà fait allusion : l'une suppose que la lumière est une matière extrêmement rare, émise, c'est-à-dire mise en mouvement par les corps lumineux; une seconde suppose que la matière n'est pas émise par les corps lumineux, mais qu'elle est mise par eux dans un état de vibration ou d'ondulation, c'est-à-dire, encore, en mouvement; troisièmement, enfin, la lumière, peut être regardée comme une ondulation ou un *mouvement* de la matière ordinaire, propagée par les actions que ses molécules elles-mêmes exercent les unes sur les autres. Dans toutes ces hypothèses, la matière et le mouvement sont les seules conceptions en jeu. Si nous en exceptons les termes dérivés de nos propres sensations, lesquelles sensations elles-mêmes peuvent n'être que des modes de mouvements au sein des filaments nerveux, nous ne pouvons pas trouver de mots pour décrire les phénomènes autres que ceux qui impliquent la matière et le mouvement. C'est en vain que nous faisons des efforts pour échapper à ces idées; si nous réussissions à leur échapper, notre puissance mentale subirait un changement qu'actuellement nous ne pouvons, en aucune manière, prévoir.

Un grand problème qui reste à résoudre, en ce qui concerne la corrélation des forces physiques, est la détermination de leurs équivalents de puissance, ou leurs expressions en mesure ou en nombre, relativement à une unité donnée. Les progrès réalisés dans quelques-unes des divisions de cette recherche, ont été déjà signalés. En considérant leurs relations statiques, ou les conditions requises pour qu'elles produisent l'équilibre ou l'égalité quantitative de force, un rapport remarquable entre l'affinité chimique et la chaleur a été découvert par MM. Dulong et Petit dans quelques corps simples, et étendu depuis par MM. Neumann et Avrogado à quelques corps composés. Leurs recherches ont prouvé que la chaleur spécifique de certaines substances, multipliée par leur équivalent chimique, donne un produit constant; ou, en d'autres termes, que les poids de combinaison de ces substances sont les poids qui exigent des additions ou des soustractions égales de chaleur, pour élever ou abaisser leur température d'un même nombre de degrés. Pour mettre cette proposition plus d'accord avec l'opinion que nous nous sommes formée sur la nature de la chaleur, nous pouvons dire que chaque corps a une capacité de communication ou de réception du pouvoir répulsif moléculaire, exactement égale, poids pour poids, à sa capacité chimique ou de combinaison; par exemple, l'équivalent du plomb est 104, celui du zinc est 33, ou en nombres ronds 3 et 1; ces nombres sont, par conséquent, inversement

proportionnels à leurs pouvoirs chimiques, c'est-à-dire qu'il faut trois fois plus de plomb que de zinc pour saturer la même quantité d'un acide, ou d'une autre substance capable de se combiner avec ces métaux; or, leurs capacités de communication ou de soustraction de la chaleur ou du pouvoir répulsif sont exactement dans le même rapport, puisqu'il faut trois fois plus de plomb que de zinc pour produire la même quantité de dilatation ou de contraction, dans une quantité donnée d'une troisième substance, l'eau par exemple.

En outre, un grand nombre de corps se combinent chimiquement en volumes égaux, c'est-à-dire dans le rapport de leurs pesanteurs spécifiques; or, les pesanteurs spécifiques représentent les pouvoirs attractifs des substances, ou sont les expressions numériques des forces tendant à mettre en mouvement des masses de matières l'une vers l'autre, pendant que les équivalents chimiques sont les expressions des affinités ou des tendances des molécules de substances dissemblables à se combiner ou à se saturer l'une l'autre; nous trouvons par suite ici, pour un certain nombre de corps, un rapport équivalent entre ces deux modes de force, la pesanteur et l'attraction chimique.

Si on élevait à la condition de loi universelle, les rapports que nous venons d'énumérer, nous trouverions les mêmes expressions numériques pour les trois forces de la chaleur, de la pesanteur et de l'affinité; et comme l'électricité et le magné-

tisme ont, avec ces forces, des rapports quantitatifs, nous arriverions à une expression semblable pour ces deux nouvelles forces ; mais, jusqu'à présent, les corps dans lesquels cette parité de force a été découverte, quoique nombreux en eux-mêmes, sont peu nombreux si on les compare aux exceptions ; et, par conséquent, ces rapprochements ne peuvent être indiqués que comme faisant espérer une généralisation possible, lorsque les recherches subséquentes seront parvenues à modifier ce que nous savons des éléments et des équivalents de combinaison de la matière.

Pour ce qui concerne ce qu'on peut appeler les équivalents dynamiques, c'est-à-dire les rapports définis au temps de l'action de ces diverses forces sur des équivalents de matière, la difficulté de les établir est peut-être plus grande. Si la proposition que j'ai énoncée au commencement de cet ouvrage est exacte, c'est-à-dire que le mouvement puisse se subdiviser ou changer de caractère, de manière à devenir chaleur, électricité, etc.; il doit en résulter que si nous rassemblions les forces dissipées ou transformées, et que nous les reconvertissions, le mouvement initial, affectant la même quantité de matière avec la même vitesse, devrait être reproduit ; et il devra en être de même du changement dans la matière produit par les autres forces ; mais quand il s'agira de prouver par des expériences la vérité de ce fait, on rencontrera dans beaucoup de cas des difficultés tout à fait insurmontables ; il nous est impossible

d'emprisonner le mouvement comme nous emprisonnons la matière; quoique nous puissions, jusqu'à un certain point, restreindre sa direction.

Dans la machine à vapeur, par exemple, la chaleur du foyer non-seulement dilate l'eau et produit ainsi le mouvement du piston, elle dilate aussi le fer du générateur, du cylindre et de tous les corps environnants. La force dépensée dans la dilatation si minime du fer est égale à celle qui fait dilater la vapeur dans une proportion si grande; cette dilatation du fer est capable, à son tour, de produire une grande force mécanique pratiquement perdue. Si on pouvait apppliquer toute la force calorifique du foyer à la seule production de vapeur, on gagnerait, à dépense égale de combustible, un énorme surcroît de puissance; peut-être, aussi, même avec nos seuls moyens actuels, pourrait-on faire davantage pour utiliser la dilatation du fer.

Une autre grande difficulté que l'on rencontre dans la détermination expérimentale des équivalents dynamiques des différentes forces, provient du travail qu'il faut faire pour disjoindre ou pour surmonter une force préexistante. Ainsi, lorsqu'une partie de la force initiale est employée à tordre ou à séparer les particules de matière unies ensemble par l'attraction cohésive, ou pour vaincre la pesanteur et l'inertie, il ne pourra pas se développer la même quantité de chaleur ou d'électricité que si cet obstacle n'existait pas, et que la force primitive fût employée tout entière non à vaincre une

opposition, mais à produire. Il est, au premier aspect, extrêmement difficile d'imaginer des expériences dans lesquelles une portion de la force ne soit pas ainsi employée à lutter contre une force existante.

La pile voltaïque nous offre le meilleur moyen de déterminer les équivalents dynamiques des différentes forces, et il est probable qu'avec son aide on finira par atteindre des résultats pratiques et théoriques qui ne laisseront rien à désirer.

En recherchant les relations des différentes forces, j'ai pris tour à tour chacune d'elles pour force primordiale ou point de départ; et je me suis efforcé de montrer comment la force, ainsi choisie arbitrairement, peut médiatement ou immédiatement produire les autres ou se fondre en elles; mais il est évident pour tous ceux qui ont attentivement étudié la matière, et dont les esprits auront admis en général la vérité des vues que je leur ai présentées, qu'aucune force ne peut, à proprement parler, être une force initiale, puisqu'elle suppose une force antérieure qui la produit : nous ne pouvons pas plus créer la force ou le mouvement que nous ne pouvons créer la matière. Ainsi, pour prendre un exemple que nous avons déjà signalé, et en revenant sur nos pas, l'étincelle lumineuse est produite par l'électricité, l'électricité par le mouvement, et le mouvement par quelque autre cause, par une machine à vapeur, par exemple, c'est-à-dire par la chaleur. Cette chaleur est produite par l'affinité chimique,

c'est-à-dire par l'affinité du carbone de la houille pour l'oxygène de l'air; ce carbone et cet oxygène ont été antérieurement dégagés ou produits par des actions qu'il est difficile de découvrir, mais dont la préexistence ne saurait être l'objet d'un doute, et dans lesquelles, si nous les analysions, nous trouverions les effets combinés et alternatifs de la chaleur, de la lumière, de l'affinité chimique, etc. Ainsi, en essayant de ramener chaque force aux forces antécédentes, nous nous perdons dans une infinité de formes de force sans cesse changeantes; arrivés à un certain terme, nous perdons leur trace, non pas parce qu'en ce point déterminé serait intervenue une création véritable, mais parce que la dernière force que nous avons pu atteindre se résout elle-même dans tant de forces qui ont contribué à la produire, que leur analyse échappe à nos sens ou à nos moyens d'épreuve; absolument comme alors que nous poursuivons dans ses effets successifs une force prise pour point de départ, nous arrivons, ainsi que je l'ai établi, à la trouver si subdivisée et si dispersée, qu'elle échappe aux moyens par lesquels nous pourrions la découvrir.

Nous est-il possible, de fait, de nous représenter sous une forme réellement accessible à notre esprit, une force sans force antécédente? Je ne le puis pas, sans faire appel à l'intervention de la puissance créatrice; pas plus que, sans cette intervention, je ne puis concevoir l'apparition soudaine d'une masse de matière, passant du non être à l'être, ou formée de

rien. L'impossibilité, humainement parlant, de la création ou de l'anéantissement de la matière a été longtemps admise, quoique, peut-être, son adoption en termes formels date du renversement de la doctrine du phlogistique, et de la réforme de la chimie au temps de Lavoisier. Les raisons qui portent à admettre la même doctrine de la non-création et du non-anéantissement, en ce qui concerne les forces, sont puissantes au même degré. Pour ce qui regarde la matière, il est plusieurs cas où nous ne pouvons jamais démontrer pratiquement sa cessation d'existence, et cependant nous ne devons nullement croire à cette cessation : qui, par exemple, peut suivre, de manière à les peser de nouveau, les particules de fer détachées de la bande des roues d'une voiture ? qui pourrait recombiner les particules dispersées et chimiquement changées dans l'acte de la combustion d'une bougie ? En plaçant la matière soumise à des changements physiques ou chimiques dans certaines conditions de limitation et d'isolement, nous pouvons, il est vrai, acquérir la preuve de la continuité de son existence, poids pour poids ; et nous pouvons aussi la même chose dans quelques cas de force comme dans l'électrolyse en proportions définies : en réalité, la preuve que nous acquérons de l'existence continuée de la matière nous est fournie par la continuation de l'exercice de la force qu'elle développe, comme, lorsque nous pesons la matière, notre preuve de son existence est la force d'attraction qu'elle exerce ; de même aussi, la preuve pour nous

de l'existence de la force est la matière sur laquelle elle agit actuellement.

Ainsi, la matière et la force sont corrélatives dans le sens rigoureux du mot ; la conception de l'existence de l'une implique la conception de l'existence de l'autre ; la quantité de matière, en outre, et le degré de force impliquent l'idée d'espace et de temps. Mais si je voulais suivre ces relations abstraites, elles me conduiraient beaucoup trop loin dans les sentiers attrayants des spéculations métaphysiques.

Que les parties théoriques de cet essai prêtent aux objections, j'en ai la conviction intime. Je ne puis cependant ne pas penser que le meilleur moyen d'éprouver une théorie, est de la comparer aux autres théories, et de regarder si, en tenant compte de tout, la balance de la probabilité ne penche pas en sa faveur. Dès qu'une théorie ne prête plus lieu à l'objection, elle cesse d'être une théorie, et devient une loi ; et, si nous nous obstinions à ne faire de théories, ou à ne considérer d'un point de vue général les phénomènes naturels, qu'alors que nos généralisations seraient certaines et à l'abri de toute objection, en d'autres termes, qu'elles seraient arrivées à l'état de lois, la science se perdrait dans une masse complexe d'observations sans liaison entre elles, et qu'on n'arriverait jamais à démêler les unes des autres. Il faut éviter les excès soit dans un sens, soit dans l'autre ; quoique nous puissions souvent errer en nous permettant une généralisation prématurée, nous pouvons également errer en nous bornant à

de pures et laborieuses collections d'observations, lesquelles, quoique conduisant quelquefois à des résultats précieux, cependant, si on les laissait s'accumuler sans lien qui les unisse, occasionneraient fréquemment de grandes pertes de temps, et laisseraient le phénomène auquel elles se rapportent dans une obscurité plus grande que celle qui l'enveloppait quand on a commencé à l'observer.

Les collections de faits diffèrent d'importance, comme aussi les théories ; les premières, dans plusieurs cas, tirent leur valeur de leur susceptibilité de généralisation ; tandis que, réciproquement, les théories ont de la valeur comme méthodes de coordination de séries données de faits, et une valeur d'autant plus grande, qu'elles souffrent peu d'exception et exigent moins de *postulata;* des faits, quelquefois, peuvent être aussi bien expliqués dans une opinion que dans l'autre ; mais, sans théorie, ils seraient inintelligibles et incommunicables. Faisons tous nos efforts pour communiquer un fait sans employer le langage de la théorie, nous échouerons certainement ; la théorie est enveloppée dans toutes nos expressions, la science du temps passé est transmise aux temps qui suivent en termes qui impliquent des conceptions théoriques. A mesure que nos connaissances relatives à une branche particulière se développent, notre manière de les concevoir devient plus simple. On se dispense de plus en plus de revenir à des hypothèses ou à des suppositions explicatives ; les mots deviennent

plus directement applicables aux phénomènes, et perdent la signification hypothétique qu'ils possédaient nécessairement à leur première réception, ils acquièrent un sens secondaire qui signifie plus immédiatement à notre esprit les faits dont ils sont l'expression. L'échafaudage a atteint son but. L'hypothèse s'efface, et une théorie ou vue généralisée des phénomènes, plus indépendante de toute supposition, mais toujours pleine de lacunes et de difficultés, prend sa place. Cette première théorie à son tour, si la science continue à progresser, ou cède la place à une généralisation plus simple et plus large, ou, par la solution complète des objections, passe à l'état de loi. Même dans cette période plus avancée, on se sert de mots impliquant la théorie, mais les phénomènes sont maintenant intelligibles et liés entre eux, indépendamment des formes d'expression dont on se sert.

Réfléchir sur la nature, c'est théoriser, il n'est que trop facile de se laisser entraîner, par la continuité des phénomènes naturels, à des théories qui semblent forcées et inintelligibles à ceux qui n'ont pas poursuivi la même direction de pensées, qui, en outre, si elles arrivent à prendre une influence qu'elles ne méritent pas, nous séduisent en nous éloignant de la vérité, qui est le seul objet de nos poursuites.

Comment tracer la ligne de démarcation? comment pouvoir dire : « On peut aller jusque-là et non plus loin, » dans chaque classe particulière d'analogies ou relations que la nature présente? jusqu'où

peut-on suivre les indications progressives de la pensée, et, quand faut-il se défendre de ses attraits? C'est une question de degré qu'il faut abandonner au jugement de chaque individu ou de chaque classe de penseurs; c'est, chose consolante toutefois, que la pensée n'est jamais dépensée en vain.

J'ai partout cherché à écarter les hypothèses d'entités subtiles et occultes. Si, dans ce désir, j'ai adopté quelques opinions fondées sur des données insuffisantes, j'espère cependant que cet essai ne sera pas considéré comme étant sans valeur.

La conviction que les impondérables sont des modes de mouvement aura pour effet, dans tout cas, de conduire celui qui observe les phénomènes naturels à s'attendre à trouver du changement dans leur manifestation partout où la structure intime de la matière sera changée; et, réciproquement, à découvrir dans la matière des changements, soit temporaires, soit permanents, partout où elle est affectée par les divers modes de force. Je crois qu'en agissant ainsi, il sera rarement trompé dans son attente. Ce n'est qu'après avoir longtemps réfléchi sur cette matière que je me suis hasardé à publier mes vues; leur publication peut amener d'autres auteurs à discuter la même matière. Elles ne sont pas mises en avant dans le même but, et elles n'ont pas la prétention d'être aussi étudiées dans les détails que les mémoires sur les faits physiques nouvellement découverts; elles se présentent comme une méthode pour voir d'un point de vue intellectuel des faits

connus, dont un petit nombre seulement ont été signalés par moi en d'autres occasions, dont la grande masse a été accumulée par les travaux des autres physiciens, et sont admis comme des vérités établies. Chacun a le droit de regarder ces faits à travers le milieu ou le verre dont l'emploi lui semblera le plus avantageux; mais il faut nécessairement qu'il existe quelque idée théorique dans l'esprit de ceux qui réfléchissent sur les divers phénomènes nouveaux qui ont été découverts récemment, et plus particulièrement dans le siècle actuel. C'est par une vue généralisée et d'ensemble des acquisitions passées faites dans le domaine des connaissances naturelles que l'on peut tirer les meilleures inductions sur le caractère probable des résultats qu'on peut attendre de l'avenir. C'est une grande aide, dans de semblables recherches, que d'être intimement convaincu qu'aucun phénomène physique ne peut rester isolé : chacun de ces phénomènes se rattache inévitablement à des changements antérieurs, de même qu'il doit produire inévitablement des changements subséquents, chacun sur chaque autre, et tous sur le temps et l'espace; et, soit en remontant aux changements antécédents, soit en descendant aux changements subséquents, on découvrira plusieurs phénomènes nouveaux, en même temps que plusieurs des phénomènes existants que l'on croyait jusque-là sans liaison les uns avec les autres apparaîtront liés entre eux et expliqués : l'explication n'est en effet

que le rapprochement de quelque chose de plus familier à notre esprit, mais non plus connu, du moins en tant que cause ou agent créateur. Dans tous les phénomènes, plus nous étudions de plus près leur nature, plus nous sommes convaincus, humainement parlant, que ni la matière ni la force ne peuvent être créées ou anéanties, et que la cause absolue ou essentielle ne saurait être atteinte.

La causation est la volonté, la création est l'acte de Dieu.

RÉFLEXIONS ET ANNOTATIONS

DE M. SEGUIN AINÉ.

Les sciences physiques et particulièrement celles qui ont pour objet les phénomènes de la chaleur dans ses rapports avec la production de la force ont fait depuis quelques années des progrès si rapides et si considérables, grâce au zèle et à la persévérance d'une foule de savants profonds et exercés, d'expérimentateurs ardents et habiles ; des faits aussi inattendus qu'intéressants nous ont tant appris sur les liens et les rapports qui unissent entre eux les phénomènes de la chaleur, de la lumière, du magnétisme, de l'électricité, etc. ; ces faits ont si bien fait ressortir les relations, ou mieux, car dans l'état actuel de la science il n'est pas permis de s'exprimer autrement, l'identité de ces phénomènes avec la production du mouvement et les formes diverses



que le mouvement peut revêtir, que l'on est obligé de se demander sérieusement si une grande réforme n'est pas devenue tout à fait urgente et nécessaire, s'il n'est pas temps et grand temps, de mettre les théories d'accord avec les faits, de faire disparaître les oppositions malheureuses, les contradictions flagrantes, qui ont successivement surgi, sur un grand nombre de points, entre les doctrines analytiques de la science officielle et l'enseignement synthétique de l'expérience, entre la langue artificielle des écoles et la langue naturelle des faits, qui viennent chaque jour donner le démenti même à ce qu'on qualifie de *premier principe* ou de point de départ nécessaire de l'enseignement classique.

L'esprit humain peut, comme l'on sait, aller très-loin dans une fausse voie lorsqu'il s'y trouve engagé, et nous en avons un exemple mémorable dans l'immense réforme que Lavoisier introduisit dans la chimie à la fin du dernier siècle, en substituant la théorie pneumatique à l'échafaudage du phlogistique, ce qui n'empêcha pas que, longtemps après, Lavoisier, ce vieil échafaudage, ne trouvât encore des appuis dans les esprits engoués des absurdes doctrines dont on les avait si longtemps bercés.

Le célèbre Montgolfier, membre de l'Institut, fut le premier frappé de l'absurdité des doctrines régnantes dans la science classique; s'effrayant de voir que les théories et les formules admises aboutissaient fatalement à la possibilité du mouve-



ment perpétuel, il proclama bien haut, dès l'année 1800, ces vérités fondamentales : que le mouvement ne peut pas plus être anéanti que créé (1), que la force et le calorique sont des manifestations, sous des formes différentes, des effets d'une seule et même cause.

Cette synthèse grandiose formulée par un génie vaste et sûr, comme celui de Newton, aurait dû frapper vivement les esprits, mais son auteur, malheureusement pour la grande cause qu'il défendait, n'était pas un mathématicien en renom ; il parlait habilement la langue de la logique, de la géométrie, de l'expérience, mais une seule langue avait alors le privilége de se faire écouter et d'imposer ses oracles, la langue de l'analyse transcendante, du calcul différentiel et intégral, de la mécanique analytique et céleste, etc.

Sous la forme humble et vulgaire qu'il leur donnait, les doctrines si profondes et si vraies de Montgolfier ne réussirent pas à fixer l'attention des hommes en possession, à cette époque, du droit de donner à la science ses limites.

Montgolfier, cependant, s'était rendu célèbre longtemps avant de mettre au jour ses idées, fécondes et trop neuves pour son temps, de l'identité du calorique et du mouvement. Sa découverte

(1) *Voir*, au *Journal des mines*, n° 73, t. XIII, une note sur le bélier hydraulique et sur la manière d'en calculer les effets, par le citoyen Montgolfier, et le n° 66, p. 489, du même journal.

si inattendue et si grandiose des aérostats lui avait conquis, dès 1784, une réputation immense. Il avait construit, quelques années plus tard, son bélier hydraulique, invention moins éclatante en apparence, plus magnifique en réalité, et qui mettait beaucoup mieux en lumière le génie de son auteur. Pour Montgolfier, le bélier hydraulique était une expression vivante, un résumé palpable de ses profondes doctrines sur la persistance et la conservation indéfinie du mouvement, une démonstration physique et mathématique à la fois du principe fondamental de la nouvelle dynamique qu'il voulait formuler. Ces titres de gloire suffirent amplement à rendre son nom populaire et immortel, mais il n'en restait pas moins vrai qu'il ne savait pas *intégrer;* et, dès lors, proposée par lui, la plus nécessaire, la plus urgente des réformes dans le domaine de la mécanique, n'aurait pas réussi à se faire accepter.

Neveu et élève de Montgolfier, je me suis voué, dès ma plus tendre jeunesse, au développement et à la propagation de ses idées; elles sont pour moi essentiellement vraies, elles m'apparaissent comme le seul fil conducteur qui puisse guider dans l'étude si complexe des phénomènes du calorique et du mouvement; je suis même intimement convaincu que c'est parce qu'elles n'ont pas été comprises et adoptées, que nous trouvons dans les traités classiques tant d'obscurités, et tant de contradictions, dès qu'il s'agit d'expliquer les faits

les plus élémentaires de la mécanique appliquée. Voilà pourquoi j'ai consacré, depuis plus de trente ans, tous mes moments de loisir à exploiter le fond qui m'a été primitivement confié ou légué par mon oncle vénéré.

En 1824, au début de ma carrière scientifique, j'écrivis à sir John Herschel, président de la Société astronomique qui venait de se former en Angleterre, une lettre dans laquelle je soumettais à sa haute appréciation un premier aperçu de la série d'idées par lesquelles j'espérais arriver à mettre dans tout leur jour la vérité et la fécondité des doctrines nouvelles, trop incomplétement énoncées ou indiquées par Montgolfier. Sir John Herschel accueillit mon programme avec une grande bienveillance, il eut l'extrême bonté de traduire lui-même ma lettre en anglais, et de demander à sir David Brewster de lui consacrer quelques pages de la *Revue d'Édimbourg ;* elle a été imprimée dans le vingtième cahier du 24 avril 1824, page 280 et suivantes ; c'était de ma part comme une sorte de prise de possession ; il demeure prouvé qu'à cette date, les questions que j'ai plus approfondies depuis, m'étaient déjà familières.

Quinze ans plus tard, en 1839, dans mon livre sur l'*Influence des chemins de fer,* je fis une première application pratique de la théorie de Montgolfier, en étudiant et calculant le rapport qui existe entre les quantités de chaleur nécessaires pour amener la vapeur à divers états de tempéra-

ture et de tensions, et les quantités de travail mécanique correspondantes à ces températures et à ces tensions. Mes recherches me conduisirent à cette conclusion que, la tension de la vapeur n'est que l'intermédiaire entre le calorique et l'effet mécanique, un mode ou moyen de conversion de la chaleur en force ; qu'il existe un rapport direct et défini entre la chaleur dépensée et l'effet mécanique produit; que ce rapport est indépendant de l'intermédiaire, tension de la vapeur ou autre, entre la chaleur et le mouvement. Je fus amené de la sorte à regarder la disparition du calorique, ou la chaleur perdue dans le passage de la vapeur d'un état de température ou de tensions plus élevées à un état de température ou de tensions plus basses, comme l'équivalent de l'effet mécanique produit dans la période d'échauffement et de dilatation. Calculant le nombre de kilogrammes qu'un mètre cube de vapeur peut élever à un mètre de hauteur en se dilatant et atteignant une température déterminée, et étendant ces appréciations à divers degrés de l'échelle thermométrique renfermés dans les limites entre lesquelles on utilise ordinairement la tension de la vapeur, je trouvai que la quantité de puissance mécanique, développée par 1 gramme d'eau dont on élève la température d'un degré, est constante, et d'environ 440 grammes. C'était la première détermination expérimentale de l'équivalent mécanique de la chaleur, et ce nombre 440 s'accorde aussi bien qu'on pouvait

l'espérer avec les nombres obtenus plus tard par MM. Joule, Mayer et autres (1).

Quelques années plus tard, je fus, comme Montgolfier, appelé à l'honneur d'appartenir à l'Institut de France.

Ma qualité de membre correspondant me donna le droit d'énoncer librement mes opinions dans les réunions hebdomadaires de l'Académie des sciences, et de les publier dans les comptes rendus de ses séances. Le premier usage que je fis de ce droit fut de rappeler, dans un mémoire lu le 20 novembre 1847 (2), les résultats que j'avais obtenus relativement à l'équivalent mécanique de la chaleur, et de prendre de nouveau possession, au nom de Montgolfier, du principe fondamental de l'identité du calorique et du mouvement. Voici comment je m'exprimais à ce sujet : « Si l'on joint au fait de la conversion de la chaleur en force dans la machine à vapeur, les cas bien plus nombreux où l'on voit le calorique se substituer au mouvement, tels que le choc, le frottement, le changement d'état ou de nature, on restera convaincu que ces deux phénomènes, chaleur et force mécanique, ne sont que des conséquences de la loi générale qui règle le mouvement de tous les corps ; et que les phénomènes que nous désignons sous le nom de *calorique* ne sont autre

(1) *Voir*, pour plus de détails, mon ouvrage sur l'*Influence des chemins de fer*, publié en 1839. Paris, Carilhan-Gœury et Victor Dalmont, p. 378 et suiv.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXV, p. 420.

chose que les effets de la communication de mouvement des corps entre eux, lorsqu'ils sont réduits à un état de division qui ne nous permet pas d'en apprécier l'intensité ou les circonstances, comme nous pouvons le faire lorsque ces mêmes corps sont animés, en masse, d'une vitesse qui peut se mesurer par les effets sensibles qu'elle produit. » J'annonçais que pour arriver à rendre compte du principe capital de l'identité du calorique et du mouvement, et des faits si nombreux et si intéressants qui en découlent ; que pour essayer de rattacher ce principe et ces faits à la simple loi de la gravitation universelle, qui doit suffire à en donner l'explication, j'avais entrepris un grand travail, avec l'intention de le soumettre à l'Académie dès qu'il serait assez avancé pour mériter sa sérieuse attention. Depuis cette époque, en effet, j'ai lu à l'Académie divers mémoires sur la constitution moléculaire intime des corps ; sur les phénomènes encore inexpliqués de la cohésion et de l'affinité chimique ; sur les causes de la dilatation ; sur la distension ou l'écartement des molécules des corps, produit par la seule attraction unie au mouvement, sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'hypothèse purement gratuite de forces répulsives, etc., etc. En ne mettant en jeu que les atomes pondérables, soit enchaînés, dans une sorte d'état d'équilibre ou de repos relatif, par la cohésion ou l'affinité, soit libres et animés d'une grande vitesse, sans jamais recourir à d'autres fluides ou agents impondérables,

s'attirant ou se repoussant suivant d'autres lois que la loi de l'attraction universelle, j'arrivai peu à peu de cette manière à développer la grande synthèse de Montgolfier, l'identité entre elles et avec le mouvement de toutes les forces de la nature (1).

Pour passer des considérations générales aux discussions particulières, et faire l'application de mes principes aux phénomènes individuels de la chaleur, de la lumière, de l'électricité, du magnétisme, etc., je n'attendais que d'être encouragé par mes confrères de l'Académie des sciences, que de trouver un écho sympathique auprès des maîtres de la science européenne.

Mais, soit que més premiers mémoires aient paru trop abstraits ou trop arides, soit que le très-petit nombre de savants qui attachent de l'importance aux questions transcendantes de la philosophie des sciences, n'aient pas pensé que le temps fût venu d'éclairer les mystères de la constitution intime de la matière; il est arrivé de fait, qu'aucun d'entre eux ne m'a suivi dans la voie que je voulais ouvrir, et que les premiers développements de ma théorie n'ont pas reçu l'accueil empressé que je leur souhaitais, dans mon amour et mon respect pour la mémoire de mon oncle Montgolfier.

On comprendra dès lors sans peine l'impression vive et enthousiaste que j'éprouvai quand, en lisant,

(1) *Voir* le texte, p. 17.

pour la première fois, vers 1848, la brochure publiée par M. William Grove, de la Société royale de Londres, sur la *Corrélation des forces physiques,* j'y trouvai développée, avec une conviction réfléchie et entraînante, la belle thèse de Montgolfier sur l'identité, non-seulement du calorique et du mouvement, mais du mouvement de la matière ordinaire et de toutes les forces de la nature physique (1). M. Grove, dont le nom est placé au premier rang des expérimentateurs et des observateurs de la nouvelle génération, dont tout le monde admire l'esprit ingénieux et fin, le jugement perspicace et sûr, n'avait jamais entendu parler de la synthèse de Montgolfier ni du développement que j'en avais essayé; et cependant il se rencontre avec lui sur presque tous les points. Pour lui, comme pour Montgolfier, le grand criterium de certitude, le réactif souverainement efficace et infaillible, qui sert à mettre en évidence la vérité ou la fausseté des théories ou des interprétations des faits, c'est l'impossibilité absolue du mouvement perpétuel, l'absurdité manifeste de la création de la force ou de son anéantissement après qu'elle a été produite.

La lecture de ce si remarquable écrit ranima mes espérances; il me semblait qu'aucun esprit sérieux et droit ne pourrait se défendre d'entrer dans le nouvel ordre d'idées si naturel, si logique et si fé-

(1) *Voir* le texte, p. 5, 18.

cond qui s'ouvrait devant lui ; je ne doutais pas que tous ne se vissent délivrés avec bonheur de ces mille entités surajoutées à la matière, agents mystérieux, fluides impondérables, forces tour à tour attractives et répulsives à tous les degrés ou suivant toutes les puissances, hypothèses gratuites et incohérentes enfantées par la manie de tout expliquer, défendues par le fatal besoin de reculer indéfiniment l'aveu de son ignorance, etc. ; je saluais en un mot comme prochain l'avénement de la bienheureuse révolution à laquelle j'avais consacré ma vie, le retour à la simplicité, à la vérité, à l'unité, entrevues par le génie synthétique de Montgolfier. Mais je dois avouer que je fus encore une fois trompé dans mes prévisions ; je ne savais pas, malgré ma longue expérience, avec quelle lenteur, et à travers quelles difficultés, s'opèrent les réformes scientifiques les plus raisonnables et les plus opportunes. Il y a déjà huit ans que la première édition de l'opuscule de M. Grove a paru, et c'est à peine si ses nouvelles et sages doctrines commencent à pénétrer quelques esprits, à se faire jour dans l'enseignement classique.

Le plaisir que j'avais éprouvé en lisant le livre de la *Corrélation des forces physiques,* avait fait naître en moi un vif désir d'entrer en rapport avec son auteur. J'étais convaincu que je gagnerais beaucoup, et pour ma propre édification, et pour le triomphe de la cause que je défendais, en me rapprochant de l'homme éminent, à la fois penseur

profond et manipulateur habile, qui avait éclairé de tant d'expériences saisissantes le plus admirable corps de doctrine des temps modernes. J'avais plus d'ambition encore, j'aspirais à conquérir son estime et son amitié, à discuter de vive voix avec lui les idées qui ont fait la grande occupation de ma vie, pour puiser auprès de lui les éclaircissements qui me manquaient encore, pour arriver à accomplir, dans la science, la révolution de principes dont mon oncle m'avait légué le soin et que mettait en lumière l'écrit de M. Grove.

J'ai été aussi heureux que je pouvais l'espérer. Non-seulement il m'a été donné de faire la connaissance de M. Grove, mais j'ai pu jouir chez moi pendant plus d'un mois de sa société et de celle de son aimable famille; j'ai pu échanger mes pensées avec les siennes et m'identifier avec l'ensemble et les plus petits détails de ses judicieuses conceptions; l'occasion était d'autant plus favorable qu'il préparait une troisième édition de son livre, incomparablement plus étendue et plus complète que les deux premières. Cette nouvelle édition a paru en effet peu de mois après le retour de M. Grove en Angleterre, et j'ai pris tout aussitôt la résolution de donner en même temps en France à ce bel ouvrage la publicité qui lui avait manqué jusque-là. A ma demande, M. l'abbé Moigno a bien voulu en entreprendre immédiatement la traduction. Le savant abbé avait déjà publié, dans la *Revue* du docteur Quesneville, la première ana-

lyse française de la *Corrélation des forces physiques;* il a pris plaisir de longue main à s'initier près de moi à la synthèse de Montgolfier; il s'est donné pour mission de populariser, dans les journaux qu'il rédige et dans ses écrits, mes théories de la constitution intime de la matière, de la cohésion, de la distension, de l'affinité chimique, de l'identité et de la conversion mutuelle de la force mécanique et de la chaleur. Personne n'était donc mieux préparé que lui au travail que j'attendais de sa complaisance et de son talent.

On trouvera dans l'édition française quelques passages qui ne figurent pas dans l'édition anglaise et qui ont été ajoutés par M. Grove; ils ont trait à de nouveaux développements de l'idée capitale de l'impossibilité du mouvement perpétuel; et à une nouvelle et brillante expérience par laquelle M. Grove est enfin parvenu à démontrer d'une manière très-nette que l'électricité, comme la chaleur, ne peut pas être amenée sans perte ou dépense à faire un travail mécanique utile ou effectif.

M. Grove a bien voulu me permettre d'ajouter à la traduction française un appendice, en forme de notes, consacré à l'exposé de ce qui, dans le trésor mis à ma disposition par Montgolfier et dans mes propres études, me semble de nature à éclairer d'un jour nouveau les rapprochements entre les diverses forces de la nature qui font l'objet principal de son livre.

M. Grove, qui discute plus les phénomènes qu'il

ne remonte à leur cause première, n'a pas essayé de montrer comment la simple attraction universelle, proportionnelle aux masses et en raison inverse du carré de la distance, suffit à rendre compte de tous les faits d'attraction réelle et de répulsion apparente dans lesquels tous les phénomènes se résument. Il s'est abstenu volontairement d'énoncer aucune opinion sur la nature des dernières particules ou des molécules de la matière. Il ramène tout aux mouvements de translation, de vibration, de polarisation des éléments de la matière ordinaire; mais il n'examine pas si ces éléments ne sont pas nécessairement de deux sortes, les uns enchaînés ou en repos relatif, les autres libres et animés de grandes vitesses qui, en passant à travers le système des premiers, les distendent ou les écartent; or, il me semble que, sans cette distinction essentielle, les divers phénomènes avec leurs rapports et leurs différences restent enveloppés de mystères et peut-être même inexplicables. M. Grove aussi a laissé entièrement de côté la force de cohésion des particules solides, la première et la plus fondamentale des forces de la nature, et ce sont là des lacunes qu'il m'a semblé que l'autorisation de M. Grove m'appelait à remplir. Telles seront donc, avec quelques considérations sur les principes généraux de la dynamique et la conservation de la force vive, les matières qui feront l'objet des notes dont M. Grove a bien voulu autoriser l'annexion à son si remarquable ouvrage.

C'est en considérant la multitude de faits, qui tous tendent à établir un rapport intime entre la disparition du calorique et la production de la force, la difficulté que l'on trouve à suivre le calorique et le mouvement jusque dans leurs dernières traces, la facilité avec laquelle ils semblent changer de rôle, de forme, de nature, apparaître ou disparaître, se présenter alternativement comme cause et effet, affecter tour à tour avec la plus étonnante facilité les formes les plus variées en apparence, du calorique, de la lumière, de l'électricité, phénomènes auxquels cependant peu de personnes aujourd'hui refusent de reconnaître la même origine, que j'ai conçu le désir de chercher à pénétrer l'épineux mystère de l'origine de la production du mouvement, de sa nature et de ses transformations. Les longues réflexions et le travail assidu auxquels je me suis livré depuis plus de trente ans, avec l'espérance de résoudre cette grave question, m'ont amené à penser que mon but ne pourrait être atteint qu'en envisageant l'ensemble de tous ces faits comme une des conséquences de la loi de la gravitation universelle, sous laquelle devaient venir se ranger tous les phénomènes moléculaires, et par conséquent ceux de la cohésion, que l'on a cru jusqu'ici en être indépendants. Je me suis donc attaché, pour établir cette grande synthèse, à déterminer ce qui arriverait si un amas de molécules matérielles, que je considère comme une de ces agglomérations de matière

nébuleuse dont les astronomes de nos jours ont fait reconnaître l'existence dans les espaces célestes, et qui paraissent y être répandus avec tant de profusion, se trouvait soumis à la loi de l'attraction en raison directe des masses, inverse du carré des distances et au repos, et si toutes les molécules qui le composent se mettaient en mouvement pour obéir à l'action réciproque qui les porte à graviter les unes vers les autres (1), et j'ai aussi déterminé quels seraient les résultats de l'action de cette loi pour régler les rapports de ces molécules entre elles.

Or, il est arrivé que les résultats auxquels j'ai été amené ont présenté de telles analogies, ou mieux, se sont trouvés si parfaitement en rapport avec ceux auxquels M. Grove est parvenu (2) de son côté, et que l'on trouve consignés presque à chaque page de son remarquable ouvrage, que cet accord si frappant, et que j'étais si loin de prévoir et d'espérer, car nous suivions l'un et l'autre des voies toutes différentes, est devenu pour moi une preuve de la vérité des idées que je m'étais formées sur la nature du calorique considéré comme le résultat de l'action que les molécules du corps exercent soit entre elles (3), soit sur les autres corps, et qu'il m'a semblé tout naturel de joindre mes idées à celles de M. Grove, en les consignant à la suite de son

(1) *Voir* le texte, p. 27.
(2) *Voir* le texte, p. 17.
(3) *Voir* le texte, p. 15.

ouvrage avec des renvois au texte, pour indiquer quels sont les rapports les plus frappants qui résultent de nos deux manières de voir.

Je vais donc commencer par exposer rapidement les principales bases du long travail que j'ai entrepris sur la cohésion, en renvoyant ceux qui désireraient à ce sujet de plus grands détails, à l'ouvrage que je publie en ce moment et qui est sous presse chez M. Mallet-Bachelier.

Pour simplifier la question, j'ai examiné d'abord l'action que deux molécules isolées, supposées infiniment petites et infiniment denses, exercent l'une sur l'autre lorsqu'elles se trouvent en présence et dans la sphère de leur attraction mutuelle, considérée comme la dernière limite à laquelle leur action puisse être regardée comme sensiblement appréciable. Ces molécules étant alors abandonnées à leurs actions réciproques, et obéissant comme tous les autres corps à la loi de la gravitation universelle, se mettront en mouvement pour s'approcher l'une de l'autre avec des vitesses infiniment petites d'abord, mais qui iront en croissant, suivant une loi qui sera fonction de l'espace qu'elles parcourront, et de la quantité dont elles s'approcheront à chaque instant l'une de l'autre. Les deux molécules, arrivées à leur centre commun de gravité, le dépasseront en vertu de la quantité de mouvement dont elles sont pourvues, et s'éloigneront jusqu'à ce qu'elles soient venues occuper, en changeant de position, la place qu'elles occupaient avant l'origine

du mouvement. Pendant cette seconde période, la quantité de mouvement qu'elles perdront à chaque instant sera représentée en sens inverse par les mêmes termes que lorsqu'elles se rapprochaient, jusqu'à ce que le mouvement dont elles étaient pourvues, se trouvant épuisé, elles arrivent de nouveau au repos. La plus légère circonstance qui influera alors sur leur état dynamique, sera suffisante pour les décider soit à recommencer une nouvelle oscillation, soit à rester à l'état de repos, soit enfin à graviter dans une nouvelle direction. Ces molécules passeront donc successivement de l'état de repos à l'état de mouvement rectiligne, et réciproquement, mais dans des conditions telles que, toujours, dans tous les cas, et dans toutes les positions où elles se trouveront, la quantité de mouvement que possèdera chacune d'elles suffirait pour la ramener au point d'où elle était partie, et au repos.

Si, de plus, l'une des molécules venait subitement à être supprimée, la seconde continuerait à se mouvoir indéfiniment dans l'espace avec la vitesse qu'elle possédait au moment où elle s'est trouvée soustraite à l'influence de la première.

Supposons actuellement qu'au lieu de deux molécules, nous en ayons un nombre tel que l'on puisse le considérer comme infini, et que toutes les molécules qui composent ce système se trouvent tout à coup soumises à l'action de la gravité à laquelle elles étaient soustraites d'abord.

Newton a démontré, comme l'on sait, que, dans ce cas, si ces molécules ne sont soumises qu'à leurs actions réciproques, le temps employé par chacune d'elles pour parvenir du point où elle se trouve au centre de gravité commun, quelle que soit d'ailleurs leur distance à ce point, sera toujours le même. Ces molécules se mettront donc toutes en mouvement avec une vitesse très-petite d'abord, mais qui ira toujours en croissant, les plus voisines arriveront près du centre avec de très-faibles vitesses, tandis que celles qui se trouvaient placées à de plus grandes distances et qui sont attirées par toute la masse sphérique dont le rayon est mesuré par leur distance au centre commun de gravité, quoique retardées par l'influence des systèmes environnants, traverseront les régions voisines de ce point avec des vitesses d'autant plus grandes, qu'elles s'en trouvaient plus éloignées à l'origine du mouvement.

Quoique la tendance de toutes ces molécules soit de se rapprocher et de s'éloigner alternativement du centre de gravité en ligne droite, elles n'en éprouveront pas moins, de la part de toutes les molécules dont elles sont environnées et quelles que soient d'ailleurs leurs distances et leurs positions respectives, des actions analogues à celles que deux molécules isolées auraient exercées l'une sur l'autre, et il en résultera une multitude de mouvements simultanés dans toutes les directions s'exécutant tous dans des courbes du second degré,

se superposant et s'accomplissant indépendamment les uns des autres.

La supposition de molécules infiniment petites, infiniment denses, telles qu'on doit les considérer d'après l'accord unanime de tous les physiciens qui se sont occupés de cette matière, excluant d'ailleurs, entre les molécules, toute possibilité de rencontres et de chocs qui les empêcheraient d'accomplir tous les mouvements résultant des actions qu'elles exercent les unes sur les autres. On voit combien l'on s'est écarté de la vérité, lorsque l'on a admis la possibilité d'une concentration au centre commun de gravité de toutes les molécules, et, en général, de tous les corps qui composaient un système soumis aux seules actions que ses principes constituants exercent les uns sur les autres. Car, s'il en était ainsi, on pourrait conclure que la force ou le mouvement peut être détruit ou annihilé; or, d'après ce que je viens d'exposer, il est aussi impossible d'anéantir le mouvement que de le créer, et il n'est personne qui ne regarde comme absurde l'opinion qui admet la possibilité du mouvement perpétuel.

Si l'on appelle m les molécules les plus voisines du centre de gravité, μ celles qui en sont les plus éloignées, et que l'on considère quel sera l'effet du passage de ces dernières à travers un système des premières, isolé du reste de la masse, on trouvera qu'elles exerceront sur lui une action à laquelle j'ai donné le nom de *distension,* et qui aura pour

résultat d'écarter les unes des autres les molécules qui le composent.

On voit, en effet, que si deux ou plusieurs molécules *m* se trouvent disposées sur une même ligne droite, et que des files de molécules μ, venant de l'espace, traversent leur système dans cette même direction, à mesure que les μ pénétreront dans le système des *m*, leurs vitesses tendront à augmenter, ainsi que les espaces qui les séparent ; par là même, la masse des molécules μ à l'extérieur du système des *m* qui tend à éloigner les *m* de leur centre de gravité, sera toujours plus grande que la masse des molécules μ à l'intérieur du système qui tend à ramener ces mêmes molécules *m* à leur centre de gravité, ces dernières agiront donc d'une manière moins active pour les en faire approcher. Ainsi, le résultat final de toutes ces actions sera une tendance, de la part des molécules *m*, à s'éloigner les unes des autres et à s'amplifier, tendance qui s'opposera à l'action de la gravitation qui porte ces molécules à s'approcher et la combattra ; et si ces deux forces deviennent égales, les molécules *m* resteront à l'état de repos (1).

Si, au lieu de considérer un système de molécules *m* traversé par des files de μ, on suppose que ces molécules affluent, en venant de toutes les directions et avec des vitesses différentes, vers un système de molécules *m* étendu dans tous les sens, et que

(1) *Voir* le texte, p. 27.

l'on puisse dès lors considérer chaque point de l'espace occupé par les m comme un centre vers lequel convergent une quantité indéfinie de μ animés de vitesses variables, les divers systèmes de m, considérés isolément, se dilateront ou se contracteront dans tous les sens à mesure que le nombre et la vitesse des μ éprouveront des variations; ces divers systèmes des m, obéissant toujours aux résultantes de toutes les actions combinées des molécules μ, qui agiront alors toutes simultanément sur eux (1).

Il résultera de ces diverses actions deux modifications bien tranchées dans l'existence de la matière:

La première, lorsque des molécules m formeront des systèmes fixes stables, nous représentant les corps existant à la surface de la terre, tels qu'ils affectent nos sens, dont l'existence sera maintenue et continuée tant que les μ, en traversant le système des m qui les composent, viendront contre-balancer les actions attractives que les molécules exercent les unes sur les autres. Les actions réciproques des m et des μ ont lieu alors d'une manière analogue à celles de la gravité et de la force centrifuge qui, en se faisant équilibre dans de très-étroites limites, maintiennent les corps célestes à des distances dont les faibles variations finissent toujours par se rétablir et s'égaliser au bout d'un temps plus ou moins long.

Le second mode d'existence de la matière, qui ré-

(1) *Voir le texte, p. 42.*

pond à ce que l'on est convenu de qualifier du nom de corps impondérables, consistera dans les assemblages ou agrégations de molécules μ se mouvant dans l'espace, dans toutes les directions et à travers tous les corps, parce que, dans ces diverses agrégations, les μ exerçant de faibles actions les unes sur les autres, les rendent susceptibles de se désorganiser, car les μ peuvent rester engagés et faire partie du système des m, lorsque, venant à les traverser, leur vitesse diminue et devient insuffisante pour résister à l'action que les m exercent alors sur eux.

Les agrégations instables des μ peuvent d'ailleurs être considérées comme un effet de leur attraction réciproque lorsque, marchant avec les mêmes vitesses, ils se trouvent dans un état relatif de repos. C'est ainsi que les diverses parties d'eau d'un grand fleuve se trouvent respectivement en repos, les unes à l'égard des autres et des corps qui flottent immergés au milieu d'elles, lorsque l'on considère des espaces limités du fleuve éloignés de ses bords.

Le premier état de la matière, tel que je le conçois et viens de le décrire, forme, dans mon opinion, les corps que les physiciens ont considérés jusqu'ici comme les seuls qui possèdent les caractères que l'on attribue généralement à la matière. Dans la formation ou le mode d'ètre de ces corps, on voit toujours deux causes agissantes : l'attraction et la distension, qui, à mesure qu'elles

deviennent prédominantes l'une sur l'autre, déterminent le mode d'existence des corps, à l'état solide, liquide ou gazeux. Les m en s'approchant les unes des autres, lorsque l'action des μ ou la distension diminue, peuvent, suivant que leurs positions entre elles se trouveront à l'origine de leurs mouvements symétriques ou irréguliers, exécuter des mouvements d'oscillation en ligne droite autour du centre commun de gravité; ou, si elles se trouvent inégalement groupées ou espacées, éprouver dans leur marche des perturbations qui les dévient de la direction rectiligne et leur fassent accomplir leurs révolutions autour du centre commun dans des courbes fermées du deuxième degré. Il arrivera alors que les molécules μ, en traversant ces systèmes, pourront les faire dilater ou distendre d'une manière inégale et relative au sens suivant lequel seront disposés les axes des ellipses dans lesquelles les m accompliront leur révolution, ainsi que l'a observé M. de Sénarmont (1).

Lorsqu'un corps se constituera ou se désagrégera, le nombre de molécules qui le composent jouera toujours un très-grand rôle dans sa formation ou sa désorganisation; car, si l'on suppose que le nombre et la vitesse des μ qui concourent à maintenir un système de molécules m dans un état permanent vienne à augmenter ou diminuer; comme la force at-

(1) *Voir* le texte, p. 66.

tractive qui unit et lie le système des m est toujours relative à leur nombre, en faisant varier ce nombre, on rendra en même temps la distension prépondérante ou inférieure à l'attraction. Il suit de là que si un système de molécules m, soit un corps constitué, venait à être divisé en parties assez ténues pour que la cohésion de ces parties devînt insuffisante pour résister à la distension que les μ exerceraient sur elles, le corps se désorganiserait à l'instant, et les molécules m qui le composent s'éloigneraient avec des vitesses plus ou moins grandes, et iraient porter à leur tour la vie et le mouvement aux corps environnants, en remplissant vis-à-vis d'eux le rôle des μ.

L'on pourra, au moyen de ces diverses considérations, parvenir à expliquer comment les corps peuvent passer d'un état à un autre : de solides devenir liquides, et ensuite gazeux, et réciproquement, et comment ces mêmes effets peuvent être obtenus par la percussion, ou même la pulvérisation, lorsque l'état de division auquel on les amène est tel que l'attraction qui unit ces petites masses devient insuffisante pour résister à la distension qui disperse et désagrége alors violemment la masse entière du corps.

Ces molécules, ainsi disséminées, se répandent dans l'espace et y jouent le rôle que l'on est convenu de désigner sous le nom de chaleur, lumière, électricité, selon que le nombre, la vitesse, les directions, les rapports qui lient entre elles, soit

ces diverses agrégations secondaires, soit ces molécules, sont différents (1); ces corps venant à leur tour, dans cet état, agir sur d'autres corps qui se trouvent sur leur passage, distendent leurs molécules et les déterminent à se désorganiser, c'est ce qui arrive dans la combustion, l'inflammation des poudres détonantes, où la déflagration, s'opérant de proche en proche, finit par gagner toute la masse.

Dans l'impuissance où se trouvait la science de pouvoir saisir les portions de la matière libre dans l'espace ou les systèmes que nous désignons sous le nom de système des μ, ni de définir leurs caractères par aucuns des moyens qui étaient à sa disposition, les savants s'étaient contentés de les désigner sous le nom d'*impondérables,* qualification négative qui semblait exclure leur existence de la classe des corps matériels et pesants, qui obéissent aux lois de l'attraction; et les placer d'une manière intermédiaire entre ces mêmes corps et les modifications qu'ils éprouvent en agissant les uns sur les autres, et donnant naissance au mouvement (2).

Cette première idée émise et acceptée, faute de mieux par la science, entraîna les savants à mesure qu'ils étudiaient les phénomènes nouveaux relatifs à la lumière, la chaleur, l'électricité, le magné-

(1) *Voir* le texte, p. 15, 18, 27, 39 et 65.
(2) *Voir* le texte, p. 65.

tisme, qui se présentaient chaque jour en foule à leurs observations, à sentir le besoin d'admettre l'existence d'un nouvel agent pour compléter ce que la première théorie avait de défectueux; ce qui arrive toujours lorsqu'on se trouve sous l'empire de notions imparfaites, ou fausses, pour expliquer des phénomènes ou des faits qui, jusque-là, avaient échappé aux investigations des observateurs, et c'est de là aussi que naquit la supposition inadmissible de l'éther, qui est venue embarrasser la marche de cette partie importante de la science et augmenter encore les obscurités dont on l'avait déjà entourée, en dépouillant les corps dits impondérables des attributs de la matière (1).

M. Grove, avec sa justesse de vue ordinaire, mais aussi avec la modestie et la réserve qui le caractérisent toutes les fois qu'il se trouve amené à substituer de nouvelles idées aux idées reçues et admises par la science, a mis à néant la supposition de l'impondérabilité de la matière d'une manière si écrasante, qu'il est difficile de croire que les considérations qui l'ont si vivement frappé puissent rester encore longtemps étrangères aux physiciens dont il a appelé l'attention sur ce sujet (2), et qu'aucun de ceux qui tiendront à se tenir au niveau de la marche et des progrès de l'esprit humain, puissent encore la soutenir, et y rester attachés.

(1) *Voir* ma lettre à M. Babinet, insérée au *Cosmos*, t. III, p. 190.
(2) *Voir* le texte, p. 153 à 158.

Les vues que j'exprimais à M. Babinet dans la lettre que je lui écrivais (1), le 20 janvier 1852, sur la formation des mondes, lettre où je lui exprimais l'absurdité qu'il me paraissait y avoir à soutenir plus longtemps l'hypothèse de l'existence de l'éther, ont tellement frappé plusieurs savants distingués, et entre autres l'illustre M. de Humboldt, que cet esprit éminemment supérieur, et qui, par l'ensemble de ses vastes connaissances, est si bien en état d'apprécier et de juger ces questions, n'a pas hésité un instant à me témoigner le vif intérêt qu'il prenait à me voir anéantir un mythe qui ne faisait qu'embarrasser la marche de la science, et y substituer des considérations saines et rationnelles auxquelles il éprouvait une véritable satisfaction de se rattacher (2).

Me suis-je trompé en pensant qu'en une telle matière, dont si peu de savants font l'objet de leurs études et de leurs méditations, la confiance que j'avais en mes nouvelles théories ne devait pas être mesurée par le nombre de ceux qui les adoptaient, et n'ai-je pas dû me rassurer pleinement quant aux encouragements que je recevais d'hommes aussi illustres que MM. de Humboldt, Herschel, Arago, sont venues se joindre les expériences, l'autorité pratique et les opinions d'un homme aussi judicieux que M. Grove?

(1) *Voir* le *Cosmos,* t. III, p. 177.
(2) *Voir* le *Cosmos,* t. III, p. 626.

En publiant, dans les considérations sur les causes de la cohésion, toutes mes idées sur la réforme qu'il me semble indispensable d'introduire dans la science actuelle, en battant en brèche la distinction qu'elle établit entre les corps pondérables et ceux qu'elle qualifie improprement d'impondérables, et mettant à néant la supposition plus que douteuse de l'éther, je ne me suis pas dissimulé toutes les difficultés que j'éprouverais à heurter de front des idées émises et généralement adoptées par tous ceux qui cultivent cette partie de la science, et en font l'objet de leurs études.

Mais j'ai cru ne pas devoir hésiter à affronter les oppositions, et même, ce qui est plus à redouter encore, la froideur et l'indifférence qui accompagnent toujours l'émission d'une idée nouvelle, lorsque ceux à qui elle est présentée peuvent craindre que son admission n'exerce une fâcheuse influence sur leur position dans la science et la société. Aussi, ne me suis-je ni étonné ni découragé du silence avec lequel ont été accueillies les diverses communications que j'ai faites à l'Académie des sciences; je ne me suis pas plaint qu'elles n'eussent été ni examinées, ni critiquées, ni combattues, et qu'elles eussent passé comme inaperçues. J'ai regretté seulement que l'intérêt que ces théories me semblent porter avec elles n'eût pas déterminé quelques-uns des hommes spéciaux qui aiment et cultivent la philosophie des sciences, à se réunir à moi pour éclairer un sujet si digne de leurs mé-

ditations et de leurs réflexions, et qui, de l'avis de tous ceux qui ont cherché à approfondir ces questions, réclame impérieusement une radicale et complète réforme.

Mais tout le monde sait que chaque question scientifique a son heure et son moment qu'il ne dépend pas de la volonté d'un seul homme de faire avancer ou retarder, surtout lorsque, comme moi, il n'a ni qualité ni mission pour se faire écouter (1); il faut donc que les vérités senties et appréciées isolément par les savants qui les considèrent sous différents points de vue, les amènent à découvrir une masse d'éléments nouveaux qui, venant converger de toutes parts vers le même but, finissent par frapper les bons esprits hautement classés dans la science, et les décident à aborder les réformes qui, alors, s'établissent sûrement, mais toujours avec beaucoup de lenteur.

Une des conditions de succès sur laquelle je compte le plus pour faire accepter, par la science, les idées nouvelles que j'émets se réduisant à admettre comme seul principe de toutes choses l'unité d'action d'un agent unique, c'est la simplicité qu'elles introduisent dans le mode d'explication des phénomènes de la nature, en attribuant à un seul et même acte de la volonté divine, l'existence, le mouvement et la vie à tout ce qu'il a créé. C'est là ce que je considère comme la vraie science, la

(1) *Voir* le texte, p. 2.

science par excellence, qui se lie intimement au profond sentiment d'admiration qui doit toujours accompagner la contemplation des œuvres de Dieu.

On se rappelle l'objection que Alphonse X, roi de Léon et de Castille, fit aux astronomes qu'il avait appelés pour lui expliquer le système du monde, en s'apercevant qu'ils se perdaient et s'embrouillaient dans la fastidieuse nomenclature de cercles, d'épicycles, dans lesquels ils étaient obligés de supposer que s'exécutaient les mouvements des astres, pour arriver à l'explication des divers aspects du ciel qui en résultaient. « Que si Dieu l'avait appelé à son conseil au moment de la création, le monde eût été bien mieux ordonné. » Et je pourrais en dire autant de la théorie actuellement admise de la force et du calorique.

Il me semble, en effet, que l'on ne doit pas hésiter à donner la préférence à toute théorie qui résume, rassemble, simplifie les causes premières et les ramène à l'unité, qui est l'essence de Dieu et de toute vérité, ni trop se préoccuper si, basée sur de tels principes, elle n'explique pas, en apparence du moins, les faits et les phénomènes, aussi bien que celles qui, embarrassées d'une foule de principes arbitraires auxquels il faut avoir recours pour faire concorder les observations, ont entassé principes sur principes pour dissimuler leur impuissance et reculer autant que possible les difficultés radicales qu'elles n'ont pu aborder et ne sauraient résoudre. Mais, alors même que toutes les objec-

tions ne seraient pas résolues, les obscurités dissipées, les contradictions évitées, par cela seul que cette théorie se fonde sur l'unité de principes et de causes, on peut présager avec certitude et être certain qu'avec le temps les faits qui se trouvaient en contradiction avec elle, rentreront sous l'empire de la loi générale, lorsqu'ils seront mieux connus et auront été mieux étudiés.

Or, quoi de plus simple que de tout rapporter à un seul élément, la matière? à un seul agent qui la modifie, le mouvement? Comment ne pas se défier d'une classification qui, en présence de phénomènes également accessibles à nos sens, crée arbitrairement deux sortes d'êtres matériels contradictoires dans leur essence : un à qui seul elle reconnaît le droit d'existence, et un autre qu'elle dépouille gratuitement des attributs les plus essentiels à la matière! Que penser de la création d'un agent inconnu, l'éther, ne pouvant être ni perçu, ni apprécié par aucun de nos sens, immobile dans l'espace où tout est en mouvement, moins qu'impondérable, et dont l'existence n'est encore démontrée que parce qu'il a permis de suivre mathématiquement et très-loin l'analogie arbitrairement admise entre la nature et le mode de propagation des phénomènes du son et de ceux de la lumière?

La prétention d'imposer à la science de pareils agents, agents dont il est si conforme à l'esprit et à la raison, de n'admettre l'existence qu'autant qu'on y est forcé par une nécessité évidente, se trouve-

t-elle justifiée par une facilité plus grande d'expliquer les faits par l'absence actuelle et momentanée d'un de ces principes simples et féconds qui jettent tout à coup, sur les questions les plus complexes, des flots de lumière, dissipent comme par enchantement toutes les difficultés, et sont si bien en harmonie avec les œuvres de Dieu? Je ne le pense pas, et, à cet égard, tout le monde, il me semble, sera de mon avis.

Newton qui, par l'étendue et la rectitude de son esprit, a mérité d'être appelé le génie par excellence, n'avait-il pas su donner l'explication des phénomènes lumineux, en admettant qu'ils étaient le résultat d'une émanation réelle de corpuscules matériels lancés par les corps lumineux? Cette explication ne satisfaisait-elle pas autant l'esprit, à l'époque ou elle parut que le fait actuellement celle donnée par les géomètres modernes, explication qui substitue, à l'hypothèse si facile à saisir des corpuscules matériels, celle bien plus gratuite d'un éther incompréhensible et insaisissable! Le célèbre Herschel, dans son *Traité sur la lumière* (1), n'a-t-il pas franchement avoué qu'aucun des systèmes proposés jusqu'à ce jour n'a pu pleinement le satisfaire, qu'il a dû se borner à exposer les phénomènes, à rapporter les explications qu'on en donne dans les deux systèmes de l'émission et des ondulations sans

(1) *Traité de la lumière,* par S.-F. W. Herschel. Paris, 1829, t. I, p. 357.

jamais se prononcer ou donner la préférence d'une manière absolue, à l'une, ou à l'autre de ces deux théories !

Un autre physicien non moins célèbre, que je consultais pour savoir quelle était celle des deux théories qu'il considérait comme la plus propre à donner une explication complète des faits, me répondit : Qu'il les regardait l'une et l'autre comme marchant d'un pas à peu près égal sur le même terrain, et se dépassant ou restant en arrière, alternativement, à mesure que de nouveaux faits venaient, soit se ranger sous les principes et les règles que chacune d'elles établissait, soit s'écarter de ces principes et de ces règles. Il ajoutait que les formules mathématiques inventées dans les dernières années, et maniées avec tant d'art et d'habileté par des géomètres célèbres qui se sont faits les partisans du système des ondulations pour calculer et prédire tous les détails des phénomènes, étaient en même temps l'expression mathématique des mêmes phénomènes dans la théorie corpusculaire, qu'il avait adoptée, à la seule condition que l'émission des particules lumineuses, partant du foyer d'où elles émanaient, avait lieu d'une manière symétrique et régulière, condition qui rentre complétement dans le mode tel que je le conçois, d'envisager le phénomène.

Une des plus fortes objections que, dans son traité *Sur la lumière*, M. Herschel soulève contre le système de l'émission, c'est l'intensité de force at-

tractive qu'il faudrait attribuer aux molécules lumineuses pour expliquer la déviation qu'elles éprouvent en traversant les milieux diaphanes, ce qui constitue la réfraction. D'après les calculs qu'il établit (1), cette intensité de pouvoir attractif des molécules dépasserait celui de la matière ordinaire dans la proportion de l'unité au nombre de 2×10^{44}; or, il résulte des suppositions que j'ai faites sur la dimension et la densité des molécules matérielles, suppositions tout à fait conformes à l'idée que se sont formée les physiciens de ces mêmes molécules, en partant des faits connus de la divisibilité de la matière, que les attractions exercées les unes sur les autres par des molécules, ayant une dimension et une densité telles que je les conçois, sont plus grandes que l'attraction exercée par la terre sur une de ces mêmes molécules, située à sa surface, dans le rapport de l'unité au nombre énorme $10^{10^{60}}$ (2).

Ces nombres, sans doute, semblent prodigieux, hors de la portée de toute conception humaine; mais lorsqu'il s'agit d'envisager de près les œuvres de Dieu, de chercher à mesurer l'étendue des moyens qu'il a employés pour produire les incompréhensibles résultats qui frappent nos sens de toutes parts, l'on cesse de s'arrêter devant des obstacles qui n'ont pour barrière que les limites de la science et de l'intelligence de l'homme. Et comme

(1) *Traité de la lumière,* Paris, 1829, t. I, p. 352.

(2) *Voir* les *Comptes rendus de l'Académie,* 7 novembre 1853, t. XXXVII, p. 707.

M. Biot, dans son *Traité de physique* (1), l'a dit avec beaucoup de raison, comparant entre eux le système de l'émission et celui des ondulations : « Il est sans doute plus difficile pour nous d'imprimer à un corps une grande vitesse qu'une petite, parce que nos forces sont limitées. Mais qu'y a-t-il de commun et de comparable entre cette limitation et l'étendue, ou l'espèce des forces qui agissent dans la nature? Rien, absolument rien. »

Une autre objection contre le système de l'émission qui a été considérée de nos jours comme insoluble et comme devant suffire à elle seule pour le faire rejeter, résulte des expériences faites par M. Foucault pour déterminer la vitesse relative de la lumière dans sa propagation à travers les corps diaphanes : il résulte en effet de ces expériences, faites avec un si grand soin et une telle précision qu'il n'est pas possible à l'esprit le moins prévenu de conserver un doute sur leur résultat, que la vitesse de la lumière est d'autant moindre que la densité des milieux qui lui livrent passage est plus grande; or, Newton et tous les partisans du système de l'émission, ont forcément admis jusqu'ici que, dans la théorie corpusculaire, la vitesse de propagation doit être d'autant plus rapide que la densité du milieu traversé est plus grande.

Mais dans ma manière d'envisager les faits, ce qu'on me permettra d'appeler ma théorie, les cho-

(1) *Traité de physique*. Paris, 1816; t. III, p. 148.

ses doivent réellement se passer comme l'a vu M. Foucault. Considérant, en effet, les phénomènes lumineux comme produits par les μ, c'est-à-dire par des molécules animées de grandes vitesses traversant les systèmes des m, ou des molécules agrégées par la cohésion, de manière à constituer des corps matériels sous tous les états et sous toutes les formes, et ayant démontré, comme je l'ai fait, que le résultat de l'action des μ sur les m est de distendre ou amplifier leur système, il est évident, *à priori*, et indépendamment de toute autre démonstration (1), que la vitesse des μ doit être diminuée pendant leur passage à travers le système des m, et cela en fonction du nombre et de la vitesse des μ et du nombre ou de la distance des m, qui sont compris dans un même espace, ce que l'on est convenu d'appeler la densité du corps. La vitesse de la lumière sera donc d'autant moindre que le milieu transparent qu'elle traversera sera plus dense.

Ce n'est pas ici le lieu d'énumérer en détail toutes les modifications aux idées reçues que le nouveau point de vue sous lequel j'ai proposé d'envisager les causes des phénomènes naturels, introduit dans la science; c'est pourquoi je me contenterai d'en exposer rapidement les principaux résultats, en renvoyant ceux qui desireraient de plus amples détails

(1) *Comptes rendus de l'Académie*, t. XXIX, 22 octobre 1849, p. 428.

sur ce sujet à l'ouvrage que je fais imprimer en ce moment chez M. Mallet-Bachelier.

En proposant d'effacer la distinction qui a été établie entre les corps pondérables et impondérables, et de les considérer comme étant, les uns et les autres, soumis aux lois de la gravitation universelle, on arrivera à la conséquence immédiate que, si les molécules des corps fixes et stables ou les m, sont soumises, dans leurs actions réciproques et leurs mouvements, aux mêmes lois que les corps célestes, elles doivent être distendues ou écartées les unes des autres par les molécules μ en mouvement qui les traversent, avec d'autant plus d'énergie qu'elles se trouvent plus rapprochées; et qu'il y a par conséquent impossibilité à ce qu'elles puissent jamais parvenir au contact. D'où il suit que le système conservera toujours intégralement la quantité de force ou de mouvement dont il est pourvu, lorsque les molécules des corps, par suite de quelque cause étrangère, comme le choc, la pression, auront été rapprochées les unes des autres plus que ne le comporte l'état d'équilibre qui résulterait de l'action réciproque des molécules fixes et des molécules en mouvement, et cet état d'équilibre tendra toujours à se rétablir aussitôt que les obstacles qui les retenaient dans ces positions forcées cesseront d'agir; et de là résulteront tous les phénomènes de l'élasticité des corps, de l'expansion des gaz, de la communication du mouvement, etc., etc.

Les phénomènes de la chaleur et de la lumière viennent tout aussi naturellement se ranger sous l'empire de ces nouvelles lois, en les considérant comme produits par des molécules μ qui émanent des foyers lumineux d'une manière régulière, et qui voyageant ensemble symétriquement et à distances égales ont agi les unes sur les autres pendant leur trajet, de manière à former des agrégations peu stables de diverses dimensions à peu près comme les flocons de substances matérielles qui se forment au sein d'un fluide dans les précipitations chimiques, et comme on le voit, lorsqu'on abandonne à elles-mêmes des substances d'une pesanteur spécifique, à peu près la même que celle du fluide dans lequel elles ont été délayées comme la pâte à papier dans de l'eau, qui prend aussitôt qu'elle cesse d'y être tenue en mouvement, un aspect mamelonné.

On comprend comment de pareils assemblages arrivant avec de grandes vitesses à la surface d'autres corps dont les molécules sont à l'état d'agrégation fixe et plus permanente, peuvent les traverser ou en être repoussés suivant les circonstances particulières, ou le mode de constitution de ces corps. Produisant la lumière lorsque les molécules μ qui composent ces systèmes sont relativement en petit nombre et animées de grandes vitesses, la chaleur lorsque le nombre en est plus grand, et les vitesses moindres, lumière et chaleur à la fois, si le nombre et la vitesse sont en même temps très-

considérables et si ces deux conditions se trouvent réunies.

Ces assemblages inégaux de molécules matérielles μ voyageant sous toutes les formes, avec toutes les vitesses, dans l'espace qu'ils remplissent, remplacent pour moi les corps impondérables et l'éther; ils éprouvent à leur périhélie de la part des corps dont ils s'approchent des déviations en rapport avec leurs vitesses et leurs dimensions; en se séparant et se groupant en nappes, ils déterminent les effets de la dispersion qui produit dans nos yeux des impressions variées et dépendantes de la nature, du nombre, de la dimension et de la vitesse de ces agrégats de molécules. Les molécules m et μ, étant assujetties comme les corps célestes aux lois de Kepler, peuvent jouer individuellement ou combinées entre elles, les unes à l'égard des autres, le rôle de planètes et de satellites, former autour de la terre ou des autres planètes, comme elles le font peut-être autour de Saturne, des anneaux de matière circulant dans des ellipses dont les foyers sont placés dans l'intérieur de ces planètes, et donner ainsi naissance aux aurores boréales, aux courants de magnétisme terrestre, etc.

On comprend encore que de pareils courants puissent s'établir et subsister autour de corps d'une plus petite dimension, et produire les phénomènes de l'électricité et ceux du magnétisme, sous toutes les formes et tous les aspects sous lesquels ils se présentent à nous dans les observa-

tions qui chaque jour viennent agrandir le champ de la science.

On a toujours considéré, jusqu'ici, les molécules constituantes des corps, lorsqu'ils sont à l'état solide, comme enchaînées les unes aux autres d'une manière invariable par la cohésion. Mais si l'on admet que les corps sont formés par divers ordres d'éléments ou atomes dont les positions respectives sont réglées par l'intensité des forces opposées de l'attraction et de la distension, et que les molécules m, qui composent ces atomes, exécutent autour de leurs centres de gravité respectifs des mouvements qui, lorsque la distension devient prépondérante, sont assez considérables pour les entraîner hors de la sphère d'attraction des corps auxquels elles appartiennent, ces molécules, en traversant les espaces avec de plus ou moins grandes vitesses, contribueront alors à jouer le rôle des μ, soit pour désorganiser les divers systèmes de m qui se trouveront sur leur passage, soit pour y rester engagées et en faire partie; et l'on se trouvera amené à se demander si des effets analogues à ceux qui ont lieu au sein des liquides ou des gaz, entre les parties des corps qui y sont dissoutes, n'ont pas lieu également entre les molécules et les diverses parties des corps solides. On s'expliquerait alors la formation des cristaux produits par la combinaison des substances insolubles, des géodes, des filons métalliques, des pierres gemmes, des diamants, aussi facilement que celle des sels composés de substances solubles dis-

soutes dans les liquides, ou dont les principes constituants se trouvent, soit en fusion, soit à l'état de gaz, en présence les uns des autres.

L'opinion des physiciens et des géologues qui admettent qu'il faut nécessairement que les substances qui ont donné naissance aux corps solides, aient été primitivement en fusion ou en dissolution, ne peut presque plus être soutenue aujourd'hui. Il se présente chaque jour des cas qui ajoutent de nouvelles difficultés ou impossibilités à celles qui existaient déjà, à mesure que l'observation fait découvrir de nouveaux faits qui avaient jusque-là échappé aux investigations de la science; et la géologie se trouve, à cet égard, dans un cas tout à fait analogue à celui que j'ai signalé lorsque les physiciens ont cru pouvoir donner l'explication des phénomènes lumineux en se basant sur la supposition hypothétique de l'existence de l'éther. Plusieurs physiciens, d'autre part, paraissent déjà reconnaître qu'il peut s'opérer de grands changements dans la constitution intime des corps solides, sans que rien, dans leur état apparent extérieur ou leurs propriétés physiques, soit de nature à les faire soupçonner.

M. A. Delarive (1) a observé qu'un conducteur de platine se désagrége lorsqu'il a transmis l'électricité pendant plusieurs mois de suite. Les observations si intéressantes de M. Charles Deville (2), sur la cristal-

(1) *Comptes rendus de l'Académie*, 7 avril 1856, t. XLII, p. 611.

(2) *Idem*, 6 décembre 1847, t. XXXV, p. 857.

lisation du soufre, ne peuvent laisser aucun doute sur le mouvement intestin des molécules dans l'intérieur de cette substance, qui passe, avec le temps, par divers états de densité en même temps que les cristaux dont elle est formée éprouvent des variations de forme et d'état.

M. Daubrée (1) admet que la seule intervention de la chaleur ne peut expliquer, dans leurs détails, les modifications profondes que les roches ont subies dans de nombreuses contrées, et pense que, dans la reproduction des divers minéraux dont il s'est occupé, la cristallisation de ces composés a lieu à une température de beaucoup inférieure à leur point de fusion. Les études sur la production artificielle des minéraux, faites par M. Durocher (2), viennent plus implicitement encore confirmer l'opinion que j'émets sur la formation des substances cristallines au sein des corps solides, car il fait remarquer fort judicieusement que la plupart des minéraux naturels étant insolubles, non volatils et souvent infusibles, on ne pouvait se rendre compte de leur origine qu'au moyen d'hypothèses qui plus tard ont été reconnues dénuées de vraisemblance, car elles impliquaient des températures énormes ou des dissolutions presque impossibles à réaliser.

(1) *Comptes rendus de l'Académie*, 17 juillet 1854, t. XXXIX, p. 135.

(2) *Idem*, 5 mai 1856, t. XLII, p. 850.

M. Mitscherlich (1), enfin, a observé que des cristaux de sulfate de nickel, de séléniate de zinc à forme prismatique, exposés à la lumière du soleil, se transformaient en cristaux octaèdres à base carrée, sans qu'on pût apercevoir à l'extérieur aucune modification sensible ni sur les côtés ni sur les faces polies de ces cristaux, ce qui indique évidemment que dans les corps solides les molécules n'ont pas de positions fixes, mais qu'elles peuvent changer de place et passer successivement par des états d'agrégation entièrement différents les uns des autres.

J'ai fait moi-même une foule d'observations prises dans un ordre de faits entièrement étrangers à ceux où les ont puisées les auteurs que je viens de citer. Toutes tendent à confirmer pleinement l'opinion que j'émets sur la formation des substances solides, en admettant l'incessante actualité de ces causes, et sans qu'il soit nécessaire d'en rapporter l'origine à l'époque de la formation primitive du globe.

Si l'on délaye de l'argile avec une dissolution de sel, que l'on en fasse un mélange aussi épais que l'on voudra, et qu'on l'abandonne à lui-même, au bout d'un certain temps, et lorsque le mélange sera durci, on trouvera dans l'intérieur de la masse des parties de sel cristallisées qui ont déplacé l'argile, tandis que les parties salines ont traversé la masse déjà à l'état solide pour venir se réunir sur certains points et y former des cristaux réguliers.

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXXVII, p. 205.

Le fait si extraordinaire des rognons de silex que l'on trouve dispersés dans les amas de sables argileux contenant de la silice en certaines proportions, paraît démontrer avec évidence que la formation de ces agrégations siliceuses a eu lieu, non pas d'une manière instantanée, mais par l'action successive du temps et par une élection lente et graduelle des molécules entre elles. C'est là l'opinion qui a été émise plusieurs fois par des géologues distingués qui sont même allés jusqu'à dire que ces changements avaient pu être plusieurs fois saisis et appréciés par l'observation directe de l'augmentation de volume de ces corps. On sait, en effet, que les combinaisons dans lesquelles entre la silice cristallisent, ainsi que l'a observé M. Daubrée (1), avec une extrême facilité et à une température bien inférieure à leur point de fusion.

J'ai aussi remarqué que du marbre blanc exposé, en plein air, aux variations de température et d'humidité de l'atmosphère, dans lequel étaient implantées des chevilles de fer, finissait, avec le temps, par absorber des parties ferrugineuses, à mesure qu'elles passaient à l'état d'oxyde. Cet oxyde pénétrait le marbre tout à l'entour du fer, partout où il était en contact avec lui et le colorait en jaune à plusieurs centimètres de distance.

On sait que, lorsque l'on empile des glaces polies,

(1) *Comptes rendus de l'Académie*, 17 juillet 1854, t. XXXIX, p. 135.

et qu'elles restent en contact pendant longtemps, sous un certain degré de pression, elles contractent entre elles une telle adhérence qu'elles finissent, sur certains points, par ne former qu'une seule et même masse. Dans cet état, aucun moyen n'existe plus pour les séparer les unes des autres et l'on est réduit à les briser en éclats. J'ai aussi observé plusieurs fois qu'en rapprochant les éclats brisés d'une espèce de vases, formés d'argile très-fine, colorée fortement en rouge par l'oxyde de fer et les liant entre eux, très-serré, en faisant tout à l'entour, et dans tous les sens avec du fil très-fort, un grand nombre de révolutions, que ces éclats finissaient au bout de quelques mois par contracter une telle adhérence qu'il n'était plus possible, non-seulement de les séparer, mais même de distinguer les traces où avait existé la solution de continuité, si ce n'est par l'absence de quelques petits éclats impossibles à recueillir, qui, comme l'on sait, se détachent toujours de la masse dans ces sortes de fractures, et qui laissaient de petits vides dont l'absence seule pouvait servir de témoignage pour constater la réalité du fait.

Je terminerai cette longue énumération de citations par le fait connu de tout le monde et que j'ai longuement discuté dans une note de mon ouvrage sur les ponts en fil de fer (1), note où j'expose les

(1) *Des ponts en fil de fer*, p. 75, par Seguin aîné. Deuxième édition ; Paris, Bachelier, 55, quai des Augustins.

changements qui s'opèrent dans la nature et les propriétés physiques du fer par suite des variations de forme qu'éprouvent les cristaux dont il est composé, lorsque son élasticité est mise fréquemment en jeu, dans les nombreux usages auxquels il est employé, et qu'elle est soumise à de fréquentes alternatives dans lesquelles il est successivement chargé et déchargé, entre des limites voisines de sa force absolue.

Si à tous ces faits l'on ajoute celui bien plus probant du transport des molécules matérielles qui se trouvent sur le circuit de l'arc voltaïque, transport qui s'exécute, sous nos yeux, sur des masses relativement considérables, dans des temps si courts que l'on peut considérer ces effets comme instantanés, on comprendra combien il est naturel d'admettre que des courants analogues, que l'on sait exister sur toute la surface du globe et parmi tous les corps dont il est composé, sur une échelle dont les moyens qui sont à notre disposition pour en faire naître de semblables, ne peuvent nous donner que des idées bien imparfaites, peuvent transporter, à de grandes distances, des molécules matérielles solides, molécules que je considère comme dans un état physique très-analogue à celui de ces mêmes molécules lorsqu'elles constituent, par leur assemblage, les liquides ou les gaz. Je regarde ces diverses agrégations ou combinaisons comme formées par la réunion de molécules constituant ce qu'on est convenu de désigner sous le nom de corps simples. La nature des corps simples, ou atomes,

dépend du nombre, de la vitesse et de l'arrangement des molécules dont ils sont composés, et de l'espèce de courbe que décrivent ces molécules autour de leur centre de gravité. Ces combinaisons premières, dont je pense qu'il existe plusieurs ordres, me paraissent être tellement liées entre elles par les lois, opposées dans leurs effets, de l'attraction et de la distension, que tous les moyens actuellement au pouvoir de la science sont impuissants pour les désunir.

J'ai cependant entendu dire, en 1823, à M. Vauquelin, dont tous les chimistes connaissent l'habileté et la force d'analyse, qu'il avait fait de nombreuses recherches et beaucoup d'expériences pour s'assurer s'il était possible de former des corps simples en faisant réagir les uns sur les autres d'autres corps où les éléments de ceux qu'il voulait obtenir n'existaient pas de toutes pièces. Qu'il avait analysé avec le plus grand soin les aliments dont il avait nourri une poule, pour s'assurer si l'on pouvait regarder la chaux qui entrait dans la composition des coquilles d'œufs qu'elle pondait, comme provenant des aliments qu'elle avait ingérés, et qu'il s'était assuré que lorsqu'il arrivait que la chaux existant dans les aliments pris par la poule dans l'intervalle des pontes, s'était trouvée en trop petite quantité pour suffire à la production des coquilles, l'analyse lui avait toujours démontré que cette quantité de chaux était plus considérable que celle qu'il avait préalablement reconnue exister dans les ali-

ments dont elle s'était nourrie, ce qui lui faisait soupçonner que cette chaux pouvait provenir de la réaction, entre eux, des corps que la science considère comme simples, et, à ce titre, indécomposables par les moyens dont elle dispose; mais que, dans son opinion, ces éléments pouvaient être désunis et reconstitués sous l'empire de certaines lois encore inconnues à la science et destinées, dans des cas extrêmes, à ne pas laisser en souffrance les admirables lois établies par le Créateur pour la propagation des espèces appartenant au règne animal.

Le temps, comme l'on sait, est un élément qui ne compte jamais pour rien dans l'accomplissement des grands phénomènes naturels qui embrassent l'immensité des siècles qui se sont écoulés depuis l'origine de la formation de l'univers. Les observations que nous faisons chaque jour sur la constitution physique et géologique du globe, nous démontrent avec une telle évidence l'immensité des espaces de temps qui ont dû séparer les grands cataclysmes géologiques qui ont laissé des traces si profondes de leur passage sur toute sa surface, que si l'on est parvenu, pendant la durée relativement si courte des temps traditionnels, depuis l'apparition de l'espèce humaine sur la terre, à observer des changements appréciables dans la composition des roches minéralogiques et des diverses autres substances dont le globe terrestre est formé, l'on peut présumer que, quelque légères que soient les causes qui ont concouru à opérer ces changements, il a pu en résulter

des modifications qui, accumulées pendant un grand nombre de siècles, ont fini par déterminer d'immenses résultats, dont il est impossible à l'homme de pénétrer les causes et de reconnaître l'origine.

Tous ces effets réunis ont pu, avec le temps, gagner de proche en proche, soit par des actions de molécule à molécule, soit par des actions à distance, et embrasser des espaces assez considérables pour s'étendre sur la face du globe entier. On sait que partout où il existe des courants électriques et magnétiques, ce qui, pour moi, se traduit par des courants de molécules matérielles libres ou combinées entre elles, qui circulent dans tous les sens au travers de l'espace et des corps qui y sont renfermés, l'arrangement des *m* ou molécules qui se trouvent sur leur passage éprouve des changements dans la masse, et que les corps qui sont formés par leur réunion sont modifiés quelquefois très-profondément dans leur aspect, leurs formes et leurs propriétés; il est dès lors facile de comprendre comment des parties de carbone, de substances métalliques, ont pu se lier entre elles, se déplacer mutuellement, se substituer les unes aux autres et produire des corps de toute espèce et de toute nature, assujettis à certaines conditions de forme et de masse, suivant des lois dont tout ce qui frappe nos sens est la conséquence.

Si, passant des considérations relatives à la formation des corps qui appartiennent au règne inorganique, nous cherchons à pénétrer ceux bien plus

compliqués qui se rapportent aux phénomènes de la vitalité, nous pourrons, peut-être, trouver aussi, dans les conséquences du mode sous lequel j'ai envisagé l'action que les molécules matérielles exercent les unes sur les autres, des inductions précieuses qui pourront nous servir de guide dans cette délicate recherche et jeter quelque lumière sur les lois, encore si peu connues, si peu étudiées, qui président à la conservation et à l'entretien de la vie des êtres animés.

On a cru, pendant longtemps, que la chaleur développée dans le poumon par la combustion qui s'y opère d'une partie des éléments du sang pendant l'acte de la respiration, suffisait à pourvoir à tous les besoins que réclame l'organisation animale pour y entretenir la vie et le mouvement. Mais une observation plus attentive et la comparaison de la quantité de chaleur produite à celle dépensée dans l'acte de la vitalité, la découverte faite depuis ces dernières années que les plantes qui étaient dépourvues de poumon développaient, elles aussi, une quantité de calorique assez considérable pour devenir appréciable aux observations et ne laisser aucun doute sur la réalité du fait, ont fait soupçonner que le phénomène était beaucoup plus compliqué qu'on ne l'avait cru d'abord (1) et qu'il fallait aller cher-

(1) *Voir* l'annonce des recherches physiologiques, entreprises par M. Claude Bernard; *Comptes rendus de l'Académie*, 18 août 1856, t. XLIII, p. 329.

cher dans d'autres organes que le poumon les foyers de la chaleur animale à la production de laquelle il ne paraissait pas qu'il pût suffire seul. Mais, j'ai fait voir que l'une des conséquences les plus remarquables du mode sous lequel j'envisage les actions que les molécules matérielles exercent les unes sur les autres lorsqu'elles obéissent à leurs attractions respectives, était de déterminer la désorganisation de toute agrégation de molécules dont la masse n'était pas suffisante pour que la somme de toutes les attractions de ces molécules entre elles pût résister à la distension exercée sur l'ensemble du corps par les molécules libres circulant dans l'espace pour les désunir et désorganiser le corps formé par leur réunion : et que, par conséquent, lorsque la division d'un corps était portée au delà d'une certaine limite, les molécules dont il était composé devaient se séparer violemment les unes des autres, s'élancer dans l'espace et qu'il devait y avoir détonation, déflagration, production de chaleur, d'électricité, suivant les circonstances particulières qui accompagnaient ce phénomène. Or, nous savons que le sang renfermé dans les vaisseaux où il est destiné à accomplir les mouvements de la circulation tend continuellement à y être de plus en plus divisé dans les artères et les veines, qui décroissent du cœur aux extrémités, de manière à devenir d'une ténuité qui dépasse la portée des instruments les plus parfaits que possède la science pour les observer. L'on peut donc croire qu'arrivé à ce point de

division le mode d'existence du sang se trouve transformé, qu'une partie de sa masse, ou peut-être, seulement, certaines parties de ses principes constituants, sont amenés à un état de division qui leur permet de prendre une forme propre à entretenir la chaleur, la vie, le mouvement dans le règne animal et probablement aussi dans le règne végétal.

L'exposé sommaire et rapide que je viens de faire de mes opinions sur la manière d'être et d'agir de la matière, après qu'à l'origine des temps elle a été créée et douée du mouvement par Dieu, l'indication rapide des résultats auxquels elles conduisent feront suffisamment comprendre combien j'ai dû être encouragé à persévérer dans mon ardent désir de faire prévaloir mes nouvelles théories, lorsque j'ai vu qu'elles se trouvaient presque sur tous les points confirmées par les expériences et les conclusions d'un homme aussi haut placé dans la science que l'est M. Grove.

La loi de l'attraction universelle en raison directe des masses en raison inverse du carré des distances emporte nécessairement avec elle la conséquence qu'à un instant donné la quantité de mouvement que la gravité a communiquée à un corps est proportionnelle aux carrés du temps écoulé depuis que ce corps a été soumis à son action; comme d'ailleurs, d'après ce que je viens d'exposer, il est rigoureusement impossible que jamais et dans aucun cas le mouvement, une fois produit, puisse être détruit ou annihilé par quelque cause que ce

puisse être, il s'ensuit que lorsqu'un corps s'est rapproché d'un autre corps, la quantité de mouvement qu'il possède, s'il n'a pas communiqué à cet autre corps tout ou partie de ce mouvement, est toujours suffisante, toujours ce qu'il faut qu'elle soit pour le ramener à la première position où il se trouvait lorsqu'il était au repos : ce fait exclut toute exception à la généralité du principe de la conservation des forces vives et fait disparaître les objections que le grand Carnot a soulevées à la fin du dernier siècle contre la généralité de cette loi. La modification de Carnot consiste à restreindre l'application du principe de la conservation des forces lorsque plusieurs corps se choquent ou agissent l'un sur l'autre, au cas seulement, où ces corps sont parfaitement élastiques et n'éprouvent pas dans leur système un changement brusque de vitesse quelle qu'en soit la cause et lors même que ce changement résulterait *de la réaction de ces corps les uns sur les autres :* comme Carnot ne dit pas ce que doit devenir la force dans le cas où les corps ne sont pas ou sont imparfaitement élastiques, on peut croire qu'il admet que cette force ou mouvement disparaît; qu'elle est en un mot annihilée, comme le dit Montgolfier, et l'on ne peut se dissimuler que tous les ouvrages des auteurs qui traitent de la dynamique ne tendent à propager cette erreur par le peu d'explications que contiennent leurs ouvrages sur le développement du théorème de Carnot.

La tâche que j'ai entreprise, de ramener les opinions dans une voie plus droite, plus conforme à la raison et à la saine logique est d'autant plus difficile que les faux principes sur lesquels sont basées les erreurs que je cherche à combattre sont déjà depuis longtemps passées dans l'enseignement, appuyés et étayés par les sommités de la science; ces erreurs proviennent de la facilité avec laquelle des hommes d'un immense mérite et du plus vaste génie ont quelquefois accueilli, sans les avoir suffisamment examinées, des hypothèses erronées et de ce que, sur ces hypothèses, ils ont fondé tout un édifice de calculs transcendants, qui souvent ont abouti aux plus grandes absurdités. J'en pourrai citer comme exemple plusieurs passages empruntés aux travaux du célèbre Laplace qui de nos jours a su, au moyen de sa puissante et sublime analyse, éclairer les questions les plus ardues de la mécanique céleste. On voit, en effet, dans le numéro 20 du premier livre de la *Mécanique céleste*, le développement des idées de Carnot, conduire M. de Laplace aux formules les plus élégantes exprimant toutes les circonstances du mouvement d'un système de corps dont les diverses parties sont soumises à des actions réciproques, actions d'où résulte, suivant les calculs établis par l'auteur, *la perte d'une partie de la vitesse et par suite du mouvement dont elles étaient pourvues*.

La même idée se trouve reproduite implicitement dans le chapitre VI du Livre V de l'*Exposition du*

système du monde, où l'auteur dit : *Que le cas dans lequel un système de molécules primitivement en repos et abandonnées à leurs actions mutuelles finiraient par former une masse immobile est infiniment peu probable.* Ce qui paraîtrait laisser croire qu'il admet la possibilité d'un fait évidemment contraire à la saine doctrine du mouvement et à la définition si exacte et si clairement formulée qu'en a donnée Montgolfier.

Le principe de ces erreurs prend évidemment sa source dans la fatale confusion qui a été faite, par les auteurs du dernier siècle, entre les effets statiques et les effets dynamiques. Si l'on considère attentivement la marche suivie par les analystes pour établir les équations du mouvement, on voit qu'ils ramènent tout au cas d'équilibre et qu'ils se contentent d'étendre au cas très-différent et incomparablement plus compliqué du mouvement, les équations de la statique, simples et faciles à établir. En introduisant l'élément de la vitesse entre des corps en repos qui se font respectivement équilibre, on ajoute aux rapports qui liaient leur mode d'existence entre eux au nouvel élément qui n'existait pas auparavant. La vitesse de ces corps est indépendante de leur masse, cette vitesse a pour effet de leur communiquer des quantités de mouvement et de leur faire parcourir des espaces qui augmentent dans des temps égaux comme les carrés de ces mêmes vitesses, et s'il est des points communs dans lesquels les mêmes principes peuvent être appliqués

en même temps à la statique et à la dynamique, ils s'arrêtent tous à la limite où les corps commencent à se mettre en mouvement. La confusion qui a été faite jusqu'ici de deux choses si différentes dans leurs causes et dans leurs effets, a amené toutes les déplorables erreurs qui aujourd'hui entravent et embarrassent la marche de la science et la font considérer par ceux qui veulent en faire des applications, plutôt comme un embarras que comme un guide. S'il est donc vrai, comme tous les bons esprits paraissent le reconnaître aujourd'hui, que la force et le calorique ne sont qu'une seule et même chose, il est évident que lorsque deux corps se choquent, le calorique produit par suite de cette collision qui élève la température soit des corps choquants, soit des parties qui s'en séparent, représente la différence du mouvement dont ces corps étaient animés avant et après le choc et que le principe de conservation du mouvement ou des forces vives, quelle que soit la dénomination qu'on voudra donner à ces effets qui sont identiques, se trouve respecté sans aucune espèce de modification.

Pour mieux s'en convaincre, il suffit de considérer ce qui se passe dans le choc et quelle est sa véritable nature. Nous savons que lorsqu'un corps est soumis à l'action permanente d'une force quelconque qui agit sur lui d'une manière régulière les vitesses que cette force lui imprime sont proportionnelles aux temps, et que les espaces qu'elle

lui fait parcourir croissent comme les carrés des temps ou des vitesses. Deux corps qui se rapprochent l'un de l'autre, accumulent donc en eux une certaine quantité de mouvement ou de force qui les place dans des conditions nouvelles. Si a un instant quelconque ils se trouvaient abandonnés à eux-mêmes dans l'espace ils continueraient à se mouvoir indéfiniment avec la vitesse dont ils étaient alors pourvus. A cet état, ils seraient susceptibles de communiquer à d'autres corps tout ou partie de leur mouvement, ou de s'éloigner d'eux de la même quantité dont ils s'en étaient approchés lorsqu'ils avaient été attirés par eux, pourvu toutefois que ces corps ayent la même masse et soient placés dans les mêmes conditions qu'à l'origine du mouvement; si la masse de ces corps est deveuue plus grande ou plus petite, la quantité dont le corps en mouvement s'éloignera de cette masse, diminuera ou croîtra proportionnellement.

Cela posé, et pour donner un exemple de la manière dont les choses doivent se passer, dans un cas particulier, considérons un corps qui pendant une seconde de temps tombe ou s'approche de la surface de la terre, l'espace qu'il parcourra sera à peu de chose près de 5 mètres, et sa vitesse à la fin de la chute sera de 10 mètres. Exprimons cette relation par l'équation $V^2 = 20E$, dans laquelle V désigne la vitesse et E l'espace parcouru. Cette vitesse de 10 mètres sera suffisante pour faire remonter le corps à une hauteur de 5 mètres, s'il reste à la surface de

la terre; mais s'il vient à être transporté sur un corps attirant dont l'action, sur lui, soit un million de fois plus grande que celle de la terre, il épuisera sa force, ou le mouvement dont il était pourvu, et en rendra dépositaire le système formé par la masse de ce corps jointe à la sienne propre, en s'éloignant de ce corps d'une quantité égale à $0^{m},00005$ soit un deux centième de millimètre, en perdant sa vitesse qui diminuera comme les carrés des temps écoulés pour parcourir ce petit espace.

Si le corps en mouvement, au lieu de s'éloigner de celui dont la masse est un million de fois plus considérable que celle du corps qui l'avait d'abord attiré, s'approchait d'un autre corps susceptible de pouvoir céder devant lui, ou de se comprimer d'un deux centième de millimètre, il lui communiquerait le mouvement dont il était pourvu en perdant lui-même sa vitesse proportionnellement au carré des temps écoulés depuis l'instant où il aurait commencé à se trouver en contact avec ce corps, soit comme les carrés du temps.

Si les molécules qui constituent le corps choqué, car ce rapprochement, ou cette rencontre constituerait un véritable choc, ou même celles du corps choquant ne pouvaient se prêter, par la nature même de ces corps, à se replier sur elles-mêmes dans le temps relatif au petit espace de deux centièmes de millimètre que devrait parcourir le corps, il y aurait fracture, projection d'éclats, mouvement de molécules, déterminant production de lumière,

de calorique, d'électricité, le tout aux dépens du mouvement du corps choquant et du corps choqué, lesquels continueraient à se mouvoir avec la quantité de mouvement et la vitesse qui leur resteraient.

Une seule et même loi doit donc présider à tous les mouvements possibles des corps, celle des espaces parcourus comme les carrés des temps et des vitesses.

L'on voit dès lors que lorsque deux corps se choquent ou se rencontrent sous un angle quelconque l'on ne peut nullement établir *à priori* que la quantité de mouvement dont ils restent pourvus, après leur rencontre, sera proportionnelle ou même dans aucun rapport déterminé quelconque avec la diagonale du parallélogramme dont les côtés représentent en grandeur et en direction les forces ou quantités de mouvement dont ces corps étaient animés.

La quantité de mouvement de ces corps restera visiblement après le choc la même qu'elle était avant; s'il y a collision entre les corps choquants, ce qui arrive toujours lorsque ces corps ne sont pas parfaitement élastiques, il y aura projection d'éclats, élévation de température, développement d'électricité; mais comme la lumière, la chaleur, l'électricité, le magnétisme, etc., ne sont en réalité que les manifestations du mouvement des particules matérielles visibles ou invisibles qui ont été détachées des masses par l'effet du choc, la quantité de mou-

vement qui restera à ces masses, après s'être choquées, sera nécessairement diminuée de toute celle qui a été employée à produire ces divers effets.

La force est, par sa nature essentiellement positive, indépendante de sa direction, et l'on peut changer à volonté cette direction sans rien lui faire perdre de son intensité ni au mouvement qui en est le produit. Si, au lieu d'admettre que deux corps se choquent réellement sous un angle quelconque, on suppose qu'ils viennent rencontrer deux surfaces infiniment élastiques, placées de manière à les amener dans la direction de la diagonale du parallélogramme dont les côtés représentent les forces qui les animent, les deux corps parcourront évidemment cette diagonale avec toute la vitesse et par conséquent toute la quantité de mouvement dont ils étaient animés avant leur changement de direction.

Newton, le génie clairvoyant par excellence, quoiqu'il n'ait pas explicitement et clairement formulé le principe de la conservation intégrale et indéfinie du mouvement, l'avait cependant entrevu et nettement exprimé, guidé par le sens droit et l'exquise judiciaire qui le caractérisaient toujours si éminemment : en effet, dans le corollaire 4 des axiomes du *Livre des principes,* il s'explique formellement à cet égard, en disant que : « La quantité de mouvement de deux corps qui se choquent est la même qu'auparavant, pourvu que les parties du corps ne soient pas altérées par la collision, ou qu'elles ne souf-

frent pas d'extension comme celle que cause le marteau. »

Cet important et épineux problème, plus difficile à résoudre alors qu'il ne l'est aujourd'hui, fit successivement l'objet des réflexions de Maupertuis, de Maclaurin, d'Euler, qui paraissent aussi disposés à admettre le principe de la conservation des forces vives dans toute sa généralité. Le grand Leibnitz a parfaitement énoncé la différence essentielle entre les effets statiques et dynamiques des forces en disant que : « La force d'un corps en mouvement devait être évaluée autrement que celle des corps en repos; que la force de ceux-ci était simplement le produit de leur masse par leur tendance au mouvement, tandis que celle des autres devait s'évaluer par le produit de leur masse et le carré de leur vitesse. »

N'est-il pas évident, en effet, que si l'on équilibre une roue avec des poids inégaux placés à différentes distances du centre, la pression exercée sur l'axe sera la même dans toutes les positions de la roue en repos? Mais, du moment où l'on mettra la roue en mouvement, l'équilibre sera troublé; chacun des poids dont elle est chargée devra être multiplié par le carré de la vitesse dont il est animé, et comme la masse de ces poids est en raison inverse de leur distance au centre, et que les vitesses sont proportionnelles à ces distances, il s'ensuit que les quantités de mouvement qui agiront en même temps sur chacun des points de la roue en mouve-

ment pour la faire tourner, cesseront de conserver leurs rapports d'égalité; le produit de la masse, par le carré de la vitesse des plus faibles, l'emportera toujours sur celui des plus forts dont la vitesse est moindre, et il en résultera une action sur l'axe ou une tendance à la flexion du côté des poids les plus faibles, qui croîtra comme les carrés des vitesses.

Les notions plus saines qui commencent à être admises aujourd'hui, par un grand nombre de savants et de praticiens, sur les effets et l'emploi de la force, tendent, de plus en plus, à faire disparaître les erreurs dans lesquelles étaient tombés les analystes qui s'étaient bornés à exprimer les circonstances du mouvement au moyen de formules transcendantes, et avaient trop négligé de s'assurer, d'abord, par des considérations synthétiques et l'observation des faits, de la vérité du principe d'où ils étaient partis pour établir leurs formules. Aujourd'hui la considération des forces moléculaires vient heureusement ajouter son appui et compléter l'ensemble des données nécessaires pour établir, par la synthèse, des principes sûrs, auxquels on pourra se fier sans crainte et avec la certitude que les résultats fournis pas les calculs basés sur ces principes, seront toujours d'accord avec les faits. L'identité incontestable qui commence aujourd'hui à être entrevue et admise par un grand nombre d'esprits réfléchis, entre les phénomènes du mouvement et ceux de la chaleur, entre les lois qui régis-

sent ces deux ordres de phénomènes, éclaire une foule de questions jusqu'ici inabordables, et devient un guide éclairé et sûr dans les applications que l'industrie et l'art voudront faire de ces puissants agents. Le mouvement et la chaleur sont les premiers et les plus indispensables éléments de la vie, et, à ce titre, il est naturel de croire, d'après l'ordre qui préside à toutes les œuvres de Dieu, qui, dans son immense, magnifique et inépuisable munificence, les a répandus partout avec tant de profusion, qu'ils ne font qu'une seule et même chose, et qu'ils peuvent être transformés l'un dans l'autre lorsque l'accomplissement des lois qu'il a établies pour maintenir l'ordre de l'univers ou notre volonté l'exige. Aller plus loin et voir, comme nous le faisons M. Grove et moi, dans tous les corps, des assemblages divers d'une seule et même matière, dans tous les phénomènes, des mouvements imprimés à cette matière unique ; n'est-ce par rendre un hommage plus éclatant encore à l'unité et à la puissance créatrice, suivant la devise qui caractérise toutes les œuvres de Dieu : simplicité et économie dans les moyens, richesse et variété dans les résultats !

NOTES ET RENVOIS.

PAGES.

8. Le lecteur curieux de connaître les opinions des Anciens relativement aux divers objets de la science, peut consulter le deuxième livre de la *Physique d'Aristote*, ainsi que les trois premiers livres de sa *Métaphysique*.

   Voyez aussi le *Timée* de PLATON, et l'*Histoire de la Philosophie ancienne* par RITTER, où l'on trouvera une esquisse de la Philosophie de LEUCIPPE et de DÉMOCRITE.

9. *Novum organum* de BACON, livre II, cap. 5 et 6.

   HUME. *Enquiry concerning human understanding; Recherches concernant l'intelligence humaine.* Londres, 1768.

   BROWN. *Enquiry into the relations of cause and effect; Recherches sur les relations de cause et d'effet.* Londres, 1835.

   On a objecté, contre l'exemple que j'ai donné ici, de la vanne d'une écluse, que la dénomination de *cause* ne pourrait guère s'y appliquer; mais, après quelques considérations, je me suis décidé à le conserver, car, si la *cause* est envisagée seulement comme une séquence, elle doit être limitée à la séquence sous des conditions ou circonstances données; or, ici, les conditions étant données, la séquence est invariable.

   Je ne vois pas de différence, quant au raisonnement, entre

PAGES.

cette comparaison et celle de Brown, d'une allumette incandescente et de la poudre à canon (quatrième édition, p. 27), à laquelle ce raisonnement s'appliquerait également bien.

HERSCHEL. *Discourse on the study of natural Philosophy; Discours sur l'étude de l'Histoire naturelle*, pp. 88 et 149.

15. *Quarterly Review*, vol. lxviii, p. 212.

WHEWELL. *Sur la question « La cause et l'effet sont-ils successifs ou simultanés; Are cause and effect successive or simultaneous? »* (Cambridge, Philosophical transactions, vol. vii, p. 319).

16. HERSCHEL. *Discourse*, etc., p. 93.

AMPÈRE. Théorie des phénomènes électro-dynamiques, Mémoire inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique*, et dans ses ouvrages, de 1820 à 1826. Paris.

24. LAMARCK. « *Sur la matière du son.* » (Journal de Physique, vol. xlix, p. 397.)

28. D'ALEMBERT. *Traité de Dynamique*, pp. 3 et 4. Paris, 1796.

29. BABBAGE. *On the Permanent impressions of our words and Actions on the Globe we inhabit; Sur l'impression permanente de nos paroles et de nos actions sur le globe que nous habitons;* neuvième traité de Bridgewater, ch. ix.

33. Je n'ai pas lu le Mémoire de Mayer; je le cite d'après le Mémoire suivant.

35. JOULE. *On the Mechanical Equivalent of Heat; Sur l'équivalent mécanique de la chaleur.* (Phil. trans., 1850, p. 61.)

36. ERMAN. *Influence of Friction on Thermo-Electricity; Influence du frottement sur la thermo-électricité.* (Reports of the British association. 1845.)

39. BECQUEREL. *Dégagement de l'électricité par le frottement.* (Traité d'électricité, tome ii, p. 113 et suite.)

40. WHEATSTONE. *On the Prismatic Recomposition of Electrical Light; Sur la décomposition prismatique de la lumière électrique.* (Notices of Communications to the British association, p. 11, 1835.)

42. BACON. *De formâ calidi* (Novum organum, lib. ii, aph. 20).

RUMFORD. *An Enquiry concerning the source of Heat which*

PAGES.

is excited by friction; Recherches relatives à la source de la chaleur excitée par le frottement. (Phil. trans., p. 80, 1798.)

DAVY. *On the Conversion of Ice into Water by friction; Sur la conversion de la glace en eau par le frottement.* (West of England Communications, p. 16.)

DAVY. *Of Heat or Calorific Repulsion; Sur la chaleur ou la répulsion calorifique.* (Elements of Chemical Philosophy, p. 69.)

46. BADEN POWELL. *On the Repulsive power of Heat; Sur le pouvoir répulsif de la chaleur.* (Phil. trans., 1834, p. 485.)

FRESNEL. (*Annales de Chimie*, tome xxix, pp. 57 et 107.)

47. MOSER. *On Invisible Light; Sur la lumière invisible.* (Taylor's Scientific Memoirs, vol. iii, p. 461 and 465.)

48. BLACK. *On Latent Heat; Sur la chaleur latente.* (Elements of Chemistry, p. 144 et *passim*, 1803.)

49. Les expériences de HENRY et DONNY ont montré que la cohésion des liquides, en ce qui concerne leur résistance à la rupture, est beaucoup plus grande qu'on ne l'a cru jusqu'ici. Ces expériences, cependant, n'obligent pas à modifier les idées que j'ai énoncées ici; car, quel que soit le caractère de l'attraction, il y a toujours à vaincre, pour faire passer un corps de l'état liquide à l'état solide, une attraction moléculaire qui exige et épuise une certaine quantité de force.

DONNY. *Sur la cohésion des liquides.* (Mém. de l'Académie royale de Bruxelles, 1843.)

HENRY. *Proceedings of the American Philosophical Society April,* 1844. (Silliman's Journal, vol. xlviii, p. 215.)

56. THILORIER. *Solidification de l'acide carbonique.* (Ann. de Chim. et de Phys., tome lx, p. 432.)

59. I. WEDGWOOD. *Thermometer for measuring the Higher degrees of Heat; Thermomètre pour mesurer les températures très-élevées.* (Phil. trans., 1782, p. 305, et 1786, p. 390.)

PAGES.

60. DESPRETZ. *Recherches sur le maximum de densité de l'eau pure et des dissolutions aqueuses.* (Ann. de Ch. et de Phys., tome lxx, p. 45, et tome lxxiii, p. 296.)

BIOT. (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 1850, p. 281.) — Les expériences sur la polarisation circulaire par l'eau sont dues, je crois, au D[r] Leeson.

61. I. THOMSON. Trans. R. S., Édimbourg, vol. xvi, p. 575.

W. THOMSON. Phil. Mag., Aug., 1850, p. 123.

BUNSEN. Pogg., Ann., vol. lxxxi, p. 562; Ann. de Ch. et de Phys., vol. xxxv, p. 385. — Effets de la pression sur le point de congélation de l'eau. J'ai essayé de donner une explication physique de l'abaissement ou élévation du point de congélation dans les corps qui se dilatent ou se contractent en se congelant. M. Thomson, cependant, a déduit ce résultat de la considération que, sans cet abaissement du point de congélation, il y aurait travail mécanique produit de rien. Quoique nous puissions déduire les lois de la mécanique, de la considération des phénomènes tels que nous les connaissons, cependant l'explication physique du phénomène de dilatation pendant le refroidissement a été toujours une difficulté pour moi, et, je pense aussi, pour plusieurs autres, quelque opinion qu'on se fasse de la nature de la chaleur.

62. DULONG, PETIT et REGNAULT. (Leurs Mémoires, résumés dans Gmélin's Handbook, *Manuel de Gmélin.*)

65. WOODS. Phil. Mag., 1851, 1852.

66. SENARMONT. *Conduction of Heat by Crystals; Conductibilité de la chaleur par les cristaux.* (Gmelin's Handbook of Chemistry, vol. i, p. 222.

67. KNOBLAUCH. Ann. de Ch. et de Phys., vol. xxxvi, p. 124.

TYNDALL, *Transmission of Heat through organic structures; Transmission de la chaleur au travers des substances organiques.* (Phil. trans., vol. cxliii, p. 217.)

71. GROVE. *Electricity produced by approximating metals; Électricité produite par le rapprochement des métaux.* Report of a Lecture at the Royal Institution. (Literary Gazette, 1843, p. 39.)

PAGES.

GASSIOT. (Phil. Mag., oct. 1844.)

ROGET. *On the Improbability of the Contact exciting force; Sur l'improbabilité de la force née du contact.* Treatise in Galvanism. (Library of Useful Knowledge, § 113.)

FARADAY. (Phil. trans., 1840, p. 126.)

73. MELLONI. *Sur la Polarisation de la chaleur : Recherches sur plusieurs phénomènes calorifiques.* (Ann. de Ch. et de Phys., tome xlv, p. 5 à 68; tome xli, p. 375 à 410, et tome xlviii, p. 198 à 218.)

FORBES. *On the Refraction and Polarisation of Heat; Sur la réfraction et la polarisation de la chaleur.* (Phil. trans. R. S., Edim., vol. xiii, p. 131 à 168.)

75. T. WEDGWOOD. *On the production of Light and Heat by different bodies; Sur la production de la chaleur et de la lumière par divers corps.* (Phil. trans., vol. lxxxii, p. 272.)

78. GROVE. *On the decomposition of Water in to its Constituent gases by Heat; Sur la décomposition de l'eau en ses gaz constituants par la chaleur.* (Phil. trans., 1847, p. 1.)

79. ROBINSON. *On the Effect of Heat in lessening the Affinities of the Elements of water; Sur l'effet de la chaleur pour diminuer l'affinité des éléments de l'eau.* (Trans. of the Royal Irish Academy, vol. xxi, p. 2.)

82. GROVE. *Water decomposed by Chlorine and Heat; Eau décomposée par le chlore et la chaleur.* (Phil. trans., 1847, p. 20.)

84. Je crains que ce passage, exprimé d'une manière si brève, puisse donner lieu à un malentendu. On comprendra, je l'espère, que cette expérience est idéale et mise simplement en avant pour rendre le raisonnement plus facile; pour mettre ma pensée plus en relief, j'ai omis toutes les données relatives aux quantités, aux chaleurs spécifiques, etc., ainsi qu'aux résultats comparatifs qu'on peut attendre de matériaux donnés. J'avoue, que je ne sais pas comment la conclusion théorique pourrait être vérifiée par l'expérience; les poids énormes et les mécanismes compliqués qu'il faudrait employer pour obtenir la mesure du pou-

PAGES.

voir engendré par la matière sous ses formes moins dilatables, sont bien au delà de nos ressources expérimentales actuelles. Il serait aussi très-difficile de prévenir les interférences ou résistances nées de l'attraction moléculaire, de l'inertie, etc., résistances qui, lorsqu'elles sont vaincues, sont une partie du pouvoir mécanique engendré, mais qu'on ne pourrait, qu'à très-grand'peine, mettre en évidence ou discerner dans le résultat final.

Voyez, sur le même sujet, SEGUIN. *Influence des chemins de fer*, p. 398. Paris, 1839.

86. CARNOT. *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. Paris, 1824.

SEGUIN. *Influence des chemins de fer*, p. 378 et suite.

87 et 88. Si un poids est élevé par le piston et lâché au point auquel il a été levé, de manière à pouvoir être employé à d'autres usages, il y a perte de chaleur. Si on laisse le même poids descendre par le refroidissement, il y a de la chaleur restaurée; en d'autres termes, dans le premier cas, la chaleur est convertie en force, dans le second, elle est transmise. — Les deux effets peuvent être appelés travail mécanique, mais dans des sens différents. Une boule, placée entre deux corps électrisés, l'un positivement, l'autre négativement, fournirait une analogie meilleure encore que celle empruntée à la machine magnétique.

97. M. WATERSTON a émis l'opinion que la chaleur solaire pourrait avoir sa source dans l'action mécanique exercée par les pierres météoriques tombant sur le soleil; et M. TOMSON a écrit un mémoire étendu sur ce sujet. (Trans. Brit. Assoc., 1853, et pour les importants mémoires de M. TOMSON, voy. Phil. Mag. de 1851 à 1854 inclus.)

100. DUFAYE, SYMMER, WATSON et FRANKLIN. *Theories of Electric fluid et Electric fluids; Théorie du fluide électrique et des fluides électriques.* (Priestley's Hist. of Electricity, p. 429 à 441.)

101. GROTTHUS. *Sur la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en solution à l'aide de l'électricité galvanique.* (Ann. de Chimie, vol. lviii, p. 54.)

PAGES.

102. FARADAY. *Ou the question whether Electrolytes conduct without decomposition; Sur la question : les électrolytes conduisent-ils sans décomposition?* (Proceedings of the Weekly meetings of the Royal Institution, 1855.)

GROVE. Comptes rendus. Paris, 1839.

FARADAY. *On Induction as an action of contiguous particles; Sur l'induction comme action des particules contiguës.* (Phil. trans., 1838, p. 30.)

103. MATTEUCCI. *Polarisations de lames de mica par l'électricité.* (Traité d'électricité par de la Rive, p. 140.)

105. FUSINIERI. *Du transport des Matières pondérables qui s'opère dans les décharges électriques.* (Archives de l'électricité; supplément à la Bibliothèque de Genève, tome iii, p. 597.)

GROVE. *On the Voltaic Arc; Sur l'arc voltaïque.* (Report of a Lecture at the Royal Institution; Lit. Gaz. and Athenæum, feb. 7, 1845; et Phil. trans., 1847, p. 16.)

108 à 115. GROVE. *On the Electro-chemical polarity of gases; Sur la polarité électro-chimique des gaz.* (Phil. trans., 1852, p. 87.)

114. FREMY et ED. BECQUEREL. *Transformation de l'oxygène en ozone par l'étincelle électrique.* (Ann. de Ch. et de Phys., 1852.) Ce sujet et la nature de l'ozone ont été étudiés en premier lieu par le Dr SCHOENBEIN. Voyez aussi un Mémoire de M. BRODIE : *On the Conditions of certains elements at the moment of Chemical change; Sur les conditions de certains éléments au moment du changement chimique.* (Phil. trans., 1850.)

116 et 117. NAIRNE. *Changements moléculaires dans les métaux électrisés.* (Phil. trans., 1780, p. 334, et 1783, p. 223; GROVE, Electrical Mag., vol. i, p. 120; PELTIER, Archiv. de l'Électricité, vol. v, p. 182; FUSINIERI, *idem*, p. 516.)

118. WERTHEIM. *Changements dans l'élasticité des métaux par l'électricité.* (Ann. de Ch. et de Phys., vol. xii, p. 623; Arch. Élect., vol. iv, p. 490.)

DUFOUR. *Altération dans la ténacité des métaux par l'élec-*

PAGES.

tricité. (Bibl. univ. de Genève, février 1855, p. 156.)

MATTEUCCI. *Conductibilité des cristaux pour l'électricité.* (Comptes rendus de l'Académie, 5 mars 1855, p. 541.)

120. E. BECQUEREL. *Transmission de l'électricité à travers des gaz chauffés.* (Ann. de Ch. et de Phys., vol. xxxix, p. 355.)

GROVE. Proccedings of the Royal Institution, 1854, p. 361.

BECQUEREL. *Divergence des feuilles d'or dans le vide.* (Traité d'Électricité, vol. v, deuxième partie, p. 55.)

121. NEWTON. 31st Query to the Optics.

122. GROVE. *Particles of Metals and Metallic oxides detached in liquids by Electricity; Particules de métaux et d'oxydes métalliques entraînés dans les liquides par l'électricité.* (Elec. Mag., vol. i, p. 119.)

123. MATTEUCCI. *Rapports entre l'électricité et la force nerveuse.* (Phil. trans., 1845, p. 285; 1846, p. 497; Phénomènes physiques des corps vivants, p. 305; Lezioni di Fisica, p. 360.)

126. BECQUEREL. *Changements chimiques produits par le frottement.* (Traité de l'Élect., vol. v, première partie, p. 16.)

134. DE LA RIVE. *Chaleur de la pile voltaïque.* (Bibl. univ., vol. xiii, p. 389.)

DAVY. *On the properties of Electrified Bodies in their relation to conducting powers and temperature; Sur les propriétés des corps électrisés dans leurs rapports avec les pouvoirs conducteurs et la température.* (Phil. trans., 1821, p. 428.)

GROVE. *On the Effect of Surrounding Media in Voltaic ignition; Sur l'effet des milieux environnants dans l'ignition voltaïque.* (Phil. trans., 1849, p. 49.)

135. OERSTED. *Expériences sur l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée.* (Ann. de Ch. et de Phys., tome xiv, p. 417.)

137. COLERIDGE. Table talk, vol. i, p. 65.

138. LENZ et JACOBI. Pogg., Ann., vol. xlvii, p. 403; Bulletin de l'Acad. de Saint-Pétersbourg, 1839; HARRIS. *Magnetism,* deuxième partie, p. 63.)

PAGES.

139. DAVY. *Décomposition des alcalis fixes.* (Phil. trans., 1808, p. 1.)

BECQUEREL. *Des composés électro-chimiques.* (Traité de l'Élect., vol. iii. chap. 13.)

CROSSE. (Trans. of the Brit. Assoc., vol. v, p. 47; Proceedings of the Electrical Society, p. 320.)

140. MALUS. *Polarisation de la lumière par réflexion.* (Mém. d'Arcueil, tome II, p. 143.)

ARAGO. *Polarisation circulaire par les solides.* (Mém. de l'Institut, 1811.)

BIOT. *Polarisation circulaire par les liquides.* (Mém. de l'Institut, 1817.)

142. NIEPCE et DAGUERRE. *Historique et description des procédés du daguerréotype.* Paris, 1839.

TALBOT. *Photogenic Drawing and Calotype; Dessins photogéniques et calotypie.* (Phil. Mag., March. 1839, et August., 1841.)

145. HERSCHEL. *Chemical action of the solar spectrum on various substances; Action chimique du spectre solaire sur diverses substances.* (Phil. trans., 1840, p. 1, et 1842, p. 181.)

HUNT. *Researches on Light; Recherches sur la lumière.* Londres, 1844.

148. GROVE. *Other forces produced by Light; Autres forces produites par la lumière.* (Lit. Gaz., janv. 1844.)

149. SOMMERVILLE (madame). *On the Magnetising Power of the more Refrangible solar rays; Sur le pouvoir magnétique des rayons les plus réfrangibles du spectre.* (Phil. trans., 1826, p. 132.)

MORICHINI. Ses expériences sont décrites dans le Mémoire cité de madame Sommerville.

150. HERSCHEL. *On the Absorption of Light in Coloured Media viewed in connexion with the Undulatory Theory; Sur l'absorption de la lumière dans les milieux coloriés au point de vue de la théorie des ondulations.* (Phil. Mag., déc. 1833.)

PAGES.

SEEBECK. *Heat of Coloured Rays; Chaleur des rayons colorés.* (Brewsters optics, p. 90.)

151. KNOBLAUCH. (Ann. de Ch., vol. xxxvi, p. 124, et POGG, Ann., à l'endroit cité dans ce dernier.)

152. HERSCHEL. *Epipolized Light; Lumière épipolique.* (Phil. trans., vol. cxxxv, pp. 143 et 147.)

STOKES. *Change in Refrangibility of Light; Changement dans la réfrangibilité de la lumière.* (Phil. trans., vol. cxlii et cxliii.)

158. Pour les premiers énoncés de la *Théorie corpusculaire* et de la *Théorie des ondulations,* voyez *Optique* de Newton, — *Micographia* par HOOKE, — et le *Tractatus de Lumine* de HUYGHENS, — voyez aussi l'*Optique* de BREWSTER, p. 138.

159. YOUNG. *Lectures* éditées par KELLAND, p. 359 et suite; Phil. trans., 1800, p. 126; HERSCHEL, Encyc. Metrop., art. *Light,* p. 450 et 738; l'*Optique* de NEWTON, p. 322; l'*Histoire des Sciences d'induction* de WHEWELL, vol. ii, p. 449; FOUCAULT, Comptes rendus, Paris, 1850, p. 65.

161. SONDHAUSS. *Refraction du son.* (Ann. de Ch. et de Phys., vol. xxxv, p. 505.)

170. PASTEUR. *Rotation de la lumière simple et de la lumière polarisée par les dissolutions de cristaux hemihédriques.* (Ann. de Ch. et de Phys., vol. xxiv, p. 442.)

173 à 177. WOLLASTON. Phil. trans., 1822, p. 89; WHEWELL, *Philosophy of the Inductive Sciences,* vol. i, p. 419; WILSON, Trans. of R. S., Edimbourg, vol. xvi, p. 79; sir W. HERSCHEL, Phil. trans., 1793, p. 201, et 1801, p. 300; MORGAN, Phil. trans., vol. lxxv, p. 272; DAVY, Phil. trans., 1822, p. 64; *Elements of Chemical Philosophy,* p. 97.

178. *Périodes de diminution des Comètes* (HERSCHEL, *Outlines of Astronomy,* p. 357.)

NEWTON. 30st Query to the Optics.

182. FARADAY. *Evolution of Electricity from Magnetism; Électricité obtenue du magnétisme.* (Phil. trans., 1832, p. 125.)

PAGES.

186. FARADAY. *Magnetic Condition of all Matter; Condition magnétique de toute matière.* (Phil. trans., 1846, p. 21; Phil. Mag., 1846, p. 249.)

BECQUEREL. (Ann. de Ch. et de Phys., tome xxxvi, p. 337; Comptes rendus, Paris, 1846, p. 147, et 1850, p. 201.)

187. FARADAY. *On the Magnetization of Light; sur la magnétisation de la lumière.* (Phil. trans., 1846, p. 1.)

188. WARTMANN. *Rotation du plan de la Polarisation du calorique par le magnétisme.* (Journal de l'Institut, n° 644.)

DE LA PROVOSTAYE et DESAINS. (Ann. de Ch. et de Phys., octobre 1849.)

189. HUNT. *Influence of Magnetism on Molecular arrangement; Influence du magnétisme sur les arrangements moléculaires.* (Phil. Mag., 1846, vol. xxxviii, p. 1; *Mem. of Geological soc.*, vol. i, p. 433.)

WARTMANN. (Phil. Mag., 1847, vol. xxx, p. 263.)

190. GROVE. *Experiment on Molecular Motion of a Magnetic substance; Expérience sur le mouvement moléculaire d'une substance magnétique.* (Elect. Mag., 1845, vol. i, p. 601.)

192. GROVE. *Sur la production directe du calorique par le magnétisme.* (Proceedings of the Roy. soc., 1849, p. 826.)

Après la communication de ce Mémoire et son impression dans les *Transactions philosophiques*, j'ai trouvé que le même sujet avait déjà été traité, par M. VAN BREDA, dans un Mémoire présenté à l'Institut en 1845. — Ce Mémoire a paru, dans les *Comptes rendus*, sous un titre erroné; ce qui explique comment il a échappé à mon attention. M. Van Breda n'y donne pas les mesures thermométriques de la chaleur qu'il a obtenue; il n'a pas produit, non plus, d'effet calorifique en se servant d'un aimant permanent en acier, ni d'autres métaux que le fer. (Comptes rendus, oct. 27, 1845.)

Voyez aussi une expérience antérieure de M. JOULE (Phil. Mag., 1843), sur laquelle l'auteur a appelé mon attention après la lecture de mon Mémoire.

193 à 197. Les expériences, ayant pour objet les effets du magné-

PAGES.

tisme sur la matière magnétisée, sont recueillies dans le *Traité d'Électricité*, de M. DE LA RIVE, vol. i.

200. DAVY. *Electricity defined as Chemical Affinity acting on Masses; Électricité définie comme affinité chimique agissant sur des masses.* (Phil. trans., 1826, p. 389.)

VOLTA. *Production d'Électricité par le simple contact de substances conductrices.* (Phil. trans., 1800, p. 403.)

201. GROVE. *Gold-leaf experiment; Expérience de la feuille d'or.* (Comptes rendus, Paris, 1839, p. 567.)

202. GROVE. *Voltaic action of Sulphur, Phosphorus, and Hydrocarbons; Action voltaïque du soufre, du phosphore et des hydrocarbures.* (Phil. trans., 1845, p. 351.)

203. GROVE. *New Voltaic Combination; Nouvelle combinaison voltaïque.* (Phil. Mag., vol. xiv, p. 388; vol. xv, p. 287.)

GROVE. *Electricity of the Blowpipe Flame; Électricité de la flamme du chalumeau.* (Proceedings of the Royal Institution, feb. 1854, et Phil. Mag.)

206. DALTON. (New syst. of Chemistry, Lond., 1810.)

207. J'ai employé, ici et ailleurs, des nombres entiers, ces nombres étant assez exacts pour servir de base à l'argumentation, mais sans aucune intention d'exprimer une opinion quelconque relativement à la loi de Prout.

208. FARADAY. *Definite Electrolysis*; Électrolyse en proportions définies. (Phil. trans., 1834, p. 77.)

211. WOOD. *Chaleur dégagée dans les combinaisons chimiques.* (Phil. Mag., 1852.)

ANDREWS. Phil. trans., 1844, p. 21.

HESS. Pogg., Ann., vol. lii, p. 107.

224. *Force catalytique développée par le platine.* (DOBEREINER, Ann. de Ch. et de Phys., tome xxiv, p. 93; DULONG et THENARD, Ann. de Ch. et de Phys., tome xxiii, p. 440.)

225. GROVE. *Pile voltaïque à gaz.* (Phil. Mag., vol. xxi, p. 417; Phil. trans., 1843, p. 91.)

227. MOSOTTI. *Forces qui règlent la constitution intime des corps.* (Taylor's Scientific Memoirs, vol. i, p. 448.)

PLUCKER. *Répulsion des axes optiques dans les cristaux*

PAGES.

par les pôles d'un aimant. (Taylor's Sc. Mem., vol. v, p. 353.)

PLUCKER. *Action magnétique de la cyanite.* (Lit. Gaz., 1849, p. 431.)

228. MATTEUCCI. *Corrélation entre le courant électrique et la force nerveuse.* (Phil. trans., 1850, p. 287.)

229. CARPENTER. *On Mutual relations of the Vital and physical forces; Sur les relations mutuelles des forces vitales et physiques.* (Phil. trans., 1850, p. 751.)

232. *Sur l'Effort.* (Voyez BROWN, *Cause et Effet;* le Discours de HERSCHEL, et le *Quaterly Review* pour juin 1841.)

253. DULONG et PETIT. *Rapport entre la chaleur spécifique des corps et leurs équivalents chimiques.* (Ann. de Ch. et de Phys., tome x, p. 395.)

NEUMANN. Pogg., Ann., vol. xxiii, p. 1.

AVOGADRO. Ann. de Ch. et de Phys., tome lv, p. 80.

FIN.

CORRÉLATION

DES

FORCES PHYSIQUES

PAR

W. R. GROVE, Esq. Q. C.

[illegible]

[illegible]

TRADUIT EN FRANÇAIS PAR M. L'ABBÉ MOIGNO

SUR LA TROISIÈME ÉDITION ANGLAISE

AVEC DES NOTES

PAR M. SEGUIN AINÉ

CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE.

PARIS

A. TRAMBLAY, DIRECTEUR DU COSMOS

rue de [illegible], 15,

LEIBER ET COMMELIN,

Librairie Centrale des Sciences, rue de Seine, [illegible]

1856

Paris. — Imprimerie de [illegible]

